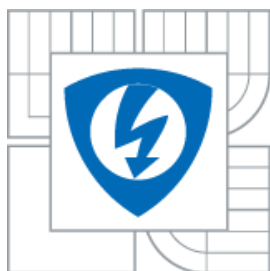




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**  
**ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION**  
**DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING**

## **BINOKULÁRNÍ VIDĚNÍ**

BINOCULAR VISION

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

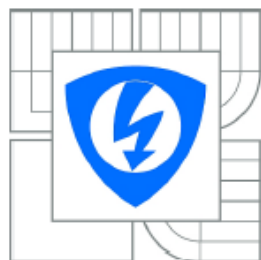
**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**ANDREA NĚMCOVÁ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. PETR FEDRA**

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Biomedicínská technika a bioinformatika

**Studentka:** Andrea Němcová

**ID:** 125062

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2011/2012

**NÁZEV TÉMATU:**

**Binokulární vidění**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Proveďte literární rešerši fyziologie binokulárního vidění pro získání prostorového vjemu z dvourozměrných obrázků pomocí brýlí. 2) Navrhněte snímání dynamické scény pomocí dvojice identických fotoaparátů/videorekordérů k získání kvalitních dat na výrobu stereoskopického videozáznamu. 3) Realizujte snímání dynamické scény, vyberte vhodnou metodu a zpracujte snímaná data ve vhodném programu pro úpravu videa. 4) Navrhněte vhodné dynamické scény k ověření fyziologických parametrů u člověka. 5) Realizujte a vyhodnoťte promítání krátkých videosekvencí ve skupině pozorovatelů s ohledem na subjektivní i objektivní hodnocení prostorového vjemu.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] GANONG, W. F. Přehled lékařské fyziologie. Praha: Nakladatelství a vydavatelství H&H, 1995. ISBN 80-85787-36-9.

[2] HLAVÁČ, V., ŠONKA, M. Počítačové vidění. Praha: Grada, 1992. ISBN 80-85424-67-3.

**Termín zadání:** 6.2.2012

**Termín odevzdání:** 25.5.2012

**Vedoucí práce:** Ing. Petr Fedra

**Konzultanti bakalářské práce:**

**prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

# Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá fyziologií binokulárního vidění pro získání prostorového vjemu z dvourozměrných obrázků pomocí brýlí. Je zde pojednáno o anatomii i fyziologii oka a vidění jako nedílných součástech binokulárního vidění, dále pak o samotném binokulárním vidění, pojmech s ním spojených a jeho vývoji v průběhu života. Důležitou součástí je popis vzniku prostorového zrakového vjemu ze dvou dvourozměrných obrázků – stereogramu. Také jsou zde popsány metody 3D projekce, a to zejména ty, které využívají aktivní či pasivní brýle, a krátce i možnosti 3D projekce bez brýlí.

Praktická část obsahuje návrh snímání dynamické scény, kde jsou popsány důležité parametry, které ovlivňují proces snímání pomocí dvojice identických videorekordérů. Součástí práce je popis návrhu jednotlivých dynamických scén s ohledem na možnost ověření fyziologických parametrů u člověka. Popsané dynamické scény byly realizovány a následně upraveny ve vhodném softwaru. Natočené videosekvence byly polarizační projekcí promítnuty skupině pozorovatelů, kteří měli tato videa subjektivně i objektivně zhodnotit.

# Abstract

This bachelor thesis deals with the physiology of binocular vision for obtaining three-dimensional perception from two-dimensional images when using special glasses. It focuses on anatomy and physiology of the human eye and vision as inseparable parts of binocular vision, and on binocular vision as such. The work also mentions terms related to vision and describes the evolution of binocular vision during the human life. The important part of this thesis is the description of the emergence of three-dimensional perception from two two-dimensional pictures (stereogram). The thesis explains the principles of 3D projection methods, especially those which use active or passive glasses, and briefly describes the possibilities of 3D projection without glasses.

The practical part includes a plan of capturing dynamic scenes where important parameters which affect the video capturing are described. The plan provides a description of a dynamic scene design with respect to the possibility of verification of human physiological parameters. Described scenes were captured by two identical cameras and edited in appropriate software. These videos were shown to a group of viewers whose task was to evaluate the videos from both subjective and objective points of view.

## **Klíčová slova**

Binokulární vidění, stereoskopie, stereoskopické vidění, stereobáze, fúze, trojrozměrný prostor, 3D, horopter, Pannumův prostor, disparita, paralaxa, 3D projekce, dynamická scéna, kamera, anaglyf, polarizačná projekce, 3D video.

## **Keywords**

Binocular vision, stereoscopy, stereoscopic vision, stereo base, fusion, three-dimensional space, 3D, horopter, Pannum's area, disparity, parallax, 3D projection, dynamic scene, camera, anaglyph, polarizing projection, 3D video.

NĚMCOVÁ, A. *Binokulární vidění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 56 s, 2 příl. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Fedra.

# Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Binokulární vidění jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 25. května 2012

.....  
podpis autora

# Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala Ing. Petru Fedrovi za odborné vedení mé bakalářské práce, za cenné rady a podněty týkající se tématu a také za poskytnuté materiály. Dále pak Bc. Tomáši Brichtovi za možnost využití jím sestrojené promítací aparatury. Také všem respondentům za jejich čas a ochotu při sledování videí a vyplňování dotazníku. A v neposlední řadě patří velký dík mé rodině za podporu a asistenci při natáčení videí.

V Brně dne 25. května 2012

.....  
podpis autora

# Obsah

Úvod.....	1
1 Anatomie a fyziologie oka .....	3
1.1 Vývoj binokulárního vidění u člověka v průběhu života .....	3
1.2 Anatomie bulbu .....	4
1.3 Optický aparát .....	4
1.4 Akomodace.....	5
1.5 Adaptace.....	5
1.6 Sítňice.....	6
1.7 Oční základna (báze).....	6
1.8 Vizus (zrková ostrost).....	6
1.9 Zorné pole .....	6
1.10 Zrková dráha.....	7
1.11 Kritická frekvence splývání .....	8
1.12 Poruchy binokulárního vidění .....	8
2 Binokulární vidění, stereoskopie.....	10
2.1 Rádus stereoskopického pole .....	11
2.2 Horopter .....	12
2.3 Pannumův prostor .....	13
2.4 Disparita .....	14
2.5 Paralaxa .....	14
2.6 Stereobáze .....	16
2.7 Princip umělého stereoskopického vidění.....	16
3 Metody 3D projekce.....	18
3.1 Anaglyf.....	18
3.2 Polarizační projekce .....	18
3.3 Aktivní 3D projekce – shutter glasses .....	19
3.4 3D projekce bez brýlí .....	20
3.5 Rozmístění diváků v prostoru .....	20
4 Návrh snímání dynamické scény.....	22
4.1 Postavení kamer .....	22
4.2 Nastavení parametrů kamer.....	23
4.3 Synchronizace kamer .....	24
4.4 Výpočet paralaxy.....	24

5 Návrh vhodných dynamických scén .....	25
5.1 Projíždějící vlak.....	25
5.2 Projíždějící automobil .....	25
5.3 Barevné spektrum.....	26
5.4 Kruhový objezd .....	27
5.5 Větrná elektrárna .....	28
5.6 Jízda vlakem.....	28
6 Realizace snímání dynamických scén .....	29
6.1 Nastavení kamer.....	30
6.2 Zpracování v softwaru.....	30
7 Realizace a vyhodnocení promítání .....	33
7.1 Realizace promítání ve skupině pozorovatelů.....	33
7.2 Vyhodnocení dotazníku.....	36
Závěr.....	50
Zdroje .....	52
Seznam použitých zkratk.....	54
Seznam příloh.....	54
Příloha 1: Dotazník.....	55
Příloha 2: Obsah přiloženého DVD .....	56



# Seznam obrázků

- Obrázek 1: Anatomický popis oka, převzato z [14]
- Obrázek 2: Schéma zobrazení předmětu na sítnici, podle [8]
- Obrázek 3: Monokulární zorné pole, převzato z [12]
- Obrázek 4: Binokulární zorné pole, převzato z [12]
- Obrázek 5: Zrakové dráhy, převzato z [8]
- Obrázek 6: Schéma reflexního oblouku binokulární fúze, podle [19]
- Obrázek 7: Rádus stereoskopického pole, převzato z [13]
- Obrázek 8: Horopter, podle [10]
- Obrázek 9: Pannumův prostor, převzato a upraveno podle [21]
- Obrázek 10: Disparita, převzato z [22]
- Obrázek 11: Nulová paralaxa, převzato z [22]
- Obrázek 12: Pozitivní paralaxa, převzato z [22]
- Obrázek 13: Divergentní paralaxa, převzato z [22]
- Obrázek 14: Negativní paralaxa, převzato z [22]
- Obrázek 15: Princip umělého stereoskopického vidění, převzato a upraveno podle [13]
- Obrázek 16: Princip anaglyfové projekce, převzato z [25]
- Obrázek 17: Princip polarizační projekce, převzato z [25]
- Obrázek 18: Princip aktivní projekce – shutter glasses, převzato z [25]
- Obrázek 19: Paralelní postavení kamer, pravidlo 1/30
- Obrázek 20: Projíždějící vlak
- Obrázek 21: Projíždějící automobil
- Obrázek 22: Barevné spektrum I
- Obrázek 23: Barevné spektrum II
- Obrázek 24: Kruhový objezd
- Obrázek 25: Větrná elektrárna
- Obrázek 26: Jízda vlakem
- Obrázek 27: Snímací aparatura
- Obrázek 28: Střih videa v programu SONY Vegas Pro 11
- Obrázek 29: Uživatelské rozhraní programu SONY Vegas Pro 11
- Obrázek 30: Promítací aparatura
- Obrázek 31: Promítání
- Obrázek 32: Plán rozmístění diváků při promítání

# Úvod

Binokulární vidění, jak sám název napovídá (z latinského bini = dvojí a oculus = oko), je „vidění oběma očima, stereoskopické, prostorové vidění”. [1, 2] Každým okem je vnímán mírně odlišný obraz, který potom mozek spojí do jednoho vjemu. Za normálních okolností tedy nejsme schopni vnímat každý obraz zvlášť, ale vždy dohromady, pokud jedno z očí nezavřeme. Díky binokulárnímu vidění je živočich schopen vnímat prostor.

Možnost binokulárního (prostorového) vidění souvisí s postavením očí na hlavě a velikostí zorného pole. Predátoři, kteří se živí lovem, potřebují velmi dobré prostorové vnímání, proto mají nejlépe vyvinuté binokulární vidění. Aby se obrazy, které vnímá každé oko, mohly dostatečně překrývat, bylo nutností, aby oči byly posazeny vepředu hlavy. Tito živočichové ale nemají příliš velké zorné pole, což při jejich predátorském způsobu života není nutností. Do této skupiny patří např. člověk, pes, kočka, sova. Čím je větší vzdálenost jejich očí od sebe, tím více jsou schopni vnímat hloubku (prostor).

Živočichové jako např. zajíc, ještěrka, papoušek nebo kůň vidí monokulárně, mohou být totiž v pozici lovených, a proto potřebují velký rozhled kolem sebe – velké zorné pole. To znamená, že mají oči postavené laterálně (na bocích hlavy). Většina z této skupiny zvířat může více či méně vnímat část scény oběma očima a vnímat tak prostor. Někteří živočichové, např. některé druhy velryb, mají ryze monokulární vidění. U těchto živočichů bývá vnímání prostoru nahrazeno jinými smysly (sluch, čich, ...). [3]

Z výše uvedeného vyplývá, že binokulární vidění je velice důležitý fyziologický proces pro určitou skupinu živočichů včetně člověka. Příroda velmi dobře dokázala přizpůsobit živočichy pro jejich způsob života a vůbec pro přežití.

Na začátek je nutné podotknout, že proces binokulárního vidění reálné scény jen pomocí očí se poněkud liší od binokulárního vnímání natočené (zprostředkované) scény. V případě natočené scény je zprostředkovatelem kamera, která má určité parametry lišící se od „přirozené kamery“ – oka. Je možné najít jisté rozdíly, ale i analogie mezi videokamerou a okem.

Zásadním rozdílem je, že člověk je primárně schopen vidět trojrozměrně, kdežto kamera vždy jen dvourozměrně.

Optickým aparátem oka je rohovka, komorová voda, čočka a sklivec. Analogií optického aparátu je u videokamery objektiv, který může mít různý počet optických členů z různých materiálů a s různými vlastnostmi. Obraz se u člověka promítá na sítnici, která je nehomogenní (typ a množství světločivných elementů jsou různé v různých místech sítnice). Velkou výhodou sítnice je její rozlišení, které se pohybuje kolem 100 MPx v závislosti na počtu tyčinek a čípků. U videokamery je obraz promítán na čip, který by měl být homogenní a může mít různou velikost a rozlišení, to bývá u běžných videokamer mnohem menší než u sítnice (řádově jednotky MPx). Oko má také obvykle větší dynamický rozsah než kamera. Proto na nás někdy může video či fotografie působit nepřirozeně (obsahuje tzv. přepaly).

Člověk je také schopen se adaptovat na tmu a vidět i při velmi slabém osvětlení. Toho kamery nejsou automaticky schopny. Vždy je nutné regulovat množství světla přicházejícího ať už do oka, nebo do objektivu kamery. Oko si množství světla reguluje pomocí zornice, která může měnit svůj poloměr. U objektivu kamery ke stejnému účelu slouží tzv. clona. Člověk dokáže vnímat scénu kontinuálně s jistou setrvačností. Setrvačnost se může projevit např. při záblesku, kdy jej ještě chvíli po jeho skončení vidíme. Kamera nesnímá kontinuálně, výsledný obraz, který člověk vnímá plynule, je sled dílčích obrazů, které s určitou frekvencí následují po sobě (např. 50 snímků za sekundu). Frekvence musí být dostatečně velká, aby obraz neblikal. Rozsah vlnových délek, které může vnímat lidské oko, je menší než rozsah vlnových délek, které může zaznamenat kamera (např. člověk není schopen vidět infračervené světlo, kdežto kamera za pomoci speciálního filtru ano). Oko zaostřuje vyklenutím čočky (akomodací) a má větší minimální zaostřovací vzdálenost, než může mít kamera. Kamera ostří pomocí pohybu optických členů objektivu. Některé objektivy (zejména tzv. makroobjektivy) umí zaostřit i na velmi malou vzdálenost a je tak možné sledovat některé okem málo viditelné nebo neviditelné detaily. Výhodou kamery je také možnost proměnné ohniskové vzdálenosti, lze tzv. zoomovat, což lidské oko bez pomůcek neumí (např. dalekohled). Zoomování souvisí s velikostí zorného úhlu, čím více je předmět přiblížen, tím menší je zorný úhel. Lidské oko má zase výhodu v automatickém vyvažování bílé barvy, což do jisté míry závisí i na zkušenostech (bílý papír vnímáme bílý za jakéhokoli osvětlení, protože víme, že je bílý). U kamery se vyvážení bílé musí nastavit, což není snadný úkol, zvláště při několika různých zdrojích světla ve scéně. [4]

Tato práce je členěna do sedmi kapitol. První kapitola přibližuje fyziologii a anatomii lidského oka a také vývoj binokulárního vidění u člověka v průběhu života. Druhá kapitola vysvětluje princip binokulárního vidění a pojmy s ním související. V kapitole tři jsou objasněny jednotlivé metody 3D projekce využívající pasivní či aktivní brýle a krátce i možnosti 3D projekce bez brýlí. Kapitola čtyři obsahuje popis návrhu snímání dynamické scény. V kapitole pět jsou rozebrány návrhy vhodných dynamických scén. V kapitole šest je popsán proces realizace navržených scén včetně nastavení kamer a následného softwarového zpracování. Kapitola sedm zahrnuje popis realizace promítání ve skupině pozorovatelů a grafické i slovní vyhodnocení tohoto promítání.

# 1 Anatomie a fyziologie oka

## 1.1 Vývoj binokulárního vidění u člověka v průběhu života

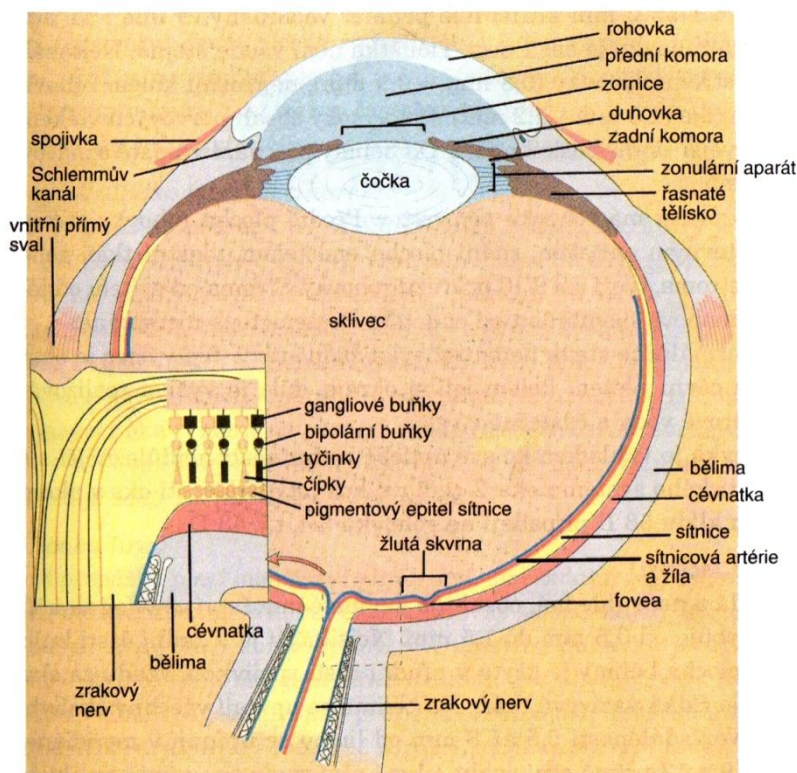
Binokulární vidění není vrozené, jeho vývoj nastává až po narození. V prvních dnech po narození dítě vidí více periferně než centrálně, protože ještě nemá zcela vyvinutou žlutou skvrnu, jedná se tedy o vidění skotopické. Právě z tohoto důvodu a také proto, že dítě zatím nemá asociační dráhy mezi senzorickou a motorickou oblastí očí, není schopné fixace ani sledování. Ve 2. týdnu života začíná u dítěte fotopické vidění. V 1. měsíci je dítě schopné monokulární fixace. Ve 2. měsíci se již objevuje binokulární fixace. Ve 3. měsíci dozrává žlutá skvrna a dítě je schopné vergentních očních pohybů. Ve 4. měsíci dítě dokáže akomodovat a začíná pomalu vznikat akomodačně-konvergenční reflex, základ binokulárního vidění. 6. měsíc provází dokončení vývoje fovey a vývoj fúzního reflexu nepostradatelného pro prostorové vidění. Reflexy důležité pro binokulární vidění se v následujících měsících zdokonalují, s tím souvisí dotykové reflexy a postupné vzpřimování dítěte. Vývoj reflexů je ukončen ve 3 letech. Až do 6. roku života dítěte pak dochází ke stabilizaci vidění. [5]

Binokulární vidění lze klasifikovat do tří vývojových stadií:

- 1) simultánní vidění – nejjednodušší forma binokulárního vidění, umožňuje pouze vnímat obraz sítnicemi obou očí
- 2) fúze – spojení obrazů z obou očí v jeden vjem
- 3) stereopse – nejvyšší vývojové stadium, umožňuje vnímání prostoru. [6]

Ve stáří dochází ke zhoršení schopnosti konvergence očí z důvodů změn ve svalovině očí (zejména atrofie). Také dochází k oslabení akomodační schopnosti. Může dojít k exoforii (divergentnímu vychýlení očních bulbů). [7]

## 1.2 Anatomie bulbu



Obrázek 1: Anatomický popis oka, převzato z [14]

Oko je nedílnou součástí zraku. Tvoří jej oční koule (bulbus oculi), která je uložena v dutině oční v přední části lebky, a přídatné orgány oka.

Anatomie oka je znázorněna na obrázku 1. Svrchní část bulbu tvoří bělima (sclera), která má ochrannou funkci. Vepředu bělima přechází v rohovku (cornea), která tvoří první část optického aparátu (vstupují do ní světelné paprsky). Pod vrstvou bělimy se nachází druhá vrstva – cévnatka (chorioidea), která vyživuje oko. V přední části se rozšiřuje a řasí v řasnaté tělíčko (corpus ciliare), na něž se upíná závěsný aparát (zonula Zinni), který drží čočku (lens). Před čočkou se nachází pigmentovaná část oka – duhovka (iris). Uprostřed duhovky je kruhový otvor zvaný zornice (pupila), který může měnit svůj poloměr a tím regulovat množství světla, jež projde dále do oka. Prostor mezi rohovkou a duhovkou se nazývá přední komora (camera anterior bulbi oculi) a ta je vyplněna čirou tekutinou – komorovou vodou (humor aqueus). Třetí nejspodnější vrstvu bulbu tvoří sítnice (retina) se světločivnými receptory. Vnitřek bulbu vyplňuje rosolovitá hmota – sklivec (corpus vitreum).

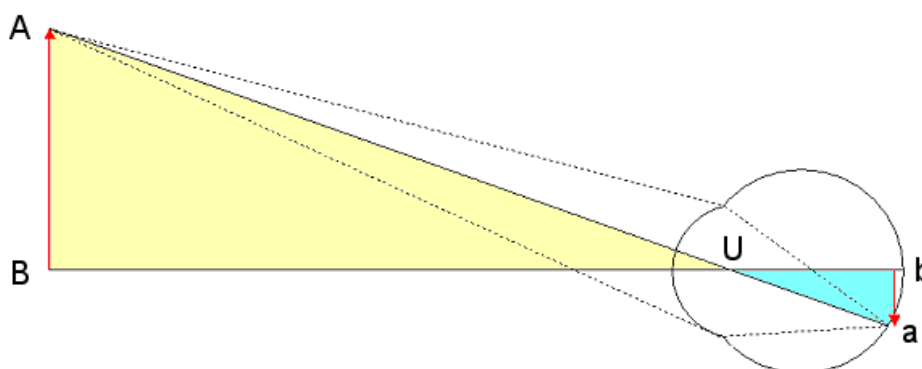
Mezi přídatné orgány oka patří okohybné svaly, oční víčka a slzní žlázy. [8, 9]

## 1.3 Optický aparát

Optický aparát oka je cesta, kterou prochází světelný paprsek na sítnici. Tvoří jej 4 optická prostředí – rohovka, komorová voda, čočka a sklivec. Tato prostředí se liší svými vlastnostmi (základní jsou: index lomu, optická mohutnost, poloměr křivosti, poloha ohnisek)

a ovlivňují paprsek v jeho chodu. Vlivem vlastností optického aparátu oka se na sítnici vytváří zmenšený a stranově i výškově převrácený obraz.

Na obrázku 2 je zjednodušené schéma zobrazení pomocí oka. Optický aparát je nahrazen pouze jednou lomnou plochou. Přímka, na které leží body  $B$ ,  $U$ ,  $b$ , se nazývá optická osa. Bod  $U$  je uzlový bod. Úhel  $AUB$  je zorný úhel. Oko je zaostřeno na úsečku  $AB$  (předmět), paprsky z ní prochází optickým aparátem, tedy z prostředí o indexu lomu menším, než je index lomu vnitřního prostředí. Následně paprsek z bodu  $B$  prochází uzlovým bodem  $U$  až do bodu  $b$  na sítnici, paprsky z bodu  $A$  do bodu  $a$  na sítnici. Velikost obrazu na sítnici lze přibližně spočítat z podobnosti trojúhelníků  $ABU$  a  $abu$ . K tomu je potřeba znát vzdálenost  $BU$  (předmětu od pozorovatele) a  $AB$  (výšku předmětu). Vzdálenost  $bU$  (uzlového bodu od sítnice) je 15 mm. [8, 10, 11]



Obrázek 2: Schéma zobrazení předmětu na sítnici, podle [8]

## 1.4 Akomodace

Akomodace je děj, při kterém se buď zvětšuje, nebo zmenšuje zakřivení čočky. Děje se tak v důsledku snahy zobrazit fixovaný bod (ten, na který se díváme) ostře, tedy na sítnici. Nejméně je čočka vyklenutá při pohledu do dálky, kdy paprsky přichází do oka téměř rovnoběžně. Nejvíce je naopak zakřivená při sledování blízkých předmětů. Pokud by se předmět nezobrazil na sítnici, ale před nebo za sítnicí, pak by nebyl ostrý. S tím souvisí pojmy blízký a vzdálený bod. Blízký bod (punctum proximum) je minimální vzdálenost, na kterou je ještě oko schopno zaostřit (9 cm–83 cm v závislosti na věku). Vzdálený bod (punctum remotum) leží u zdravého oka v nekonečnu a odpovídá nulové akomodaci. Rozdíl převrácených hodnot blízkého a vzdáleného bodu se nazývá akomodační šíře (vyjadřuje se v dioptriích). [8, 11]

## 1.5 Adaptace

Člověk je schopen vnímat velký rozsah intenzity světla, a to díky zornici, která má proměnlivý poloměr a tím umožňuje regulovat množství světla procházejícího dovnitř oka. Při větší intenzitě světla dochází k zúžení zornice, to má za následek menší (ale dostatečný)

dopad paprsků světla na sítnici a zároveň dochází ke zvýšení hloubky ostrosti (DOF = Depth of Field). Zúžení umožňuje omezit přesvětlení sítnice až na 1/16. K zúžení zornice dochází také při pohledu do blízka. Naopak při nízké hladině osvětlení dochází k rozšíření zornice a snížení DOF. [10]

## 1.6 Sítnice

Sítnice je světločivná vrstva oka, která obsahuje pigmentový epitel, světločivné elementy – tyčinky a čípky a 4 typy neuronů – horizontální, bipolární, amakrinní a gangliové buňky. Tyčinky a čípky jsou pomocí těchto neuronů konvergentně svedeny do zrakového nervu. Místu sítnice, kde zrakový nerv opouští oko, se říká slepá skvrna a neobsahuje žádné světločivné elementy. Na sítnici naopak existuje místo s největší hustotou čípků a nulovou hustotou tyčinek – místo nejostřejšího vidění – fovea centralis, to leží ve středu žluté skvrny. V tomto místě nedochází ke konvergenci ve vedení, každý čípek je spojen s jednou bipolární buňkou a poté jednou gangliovou buňkou. Když se oko soustředí na nějaký předmět, je snaha zobrazovat jej právě na fovea centralis. Díky tomu dochází k odchylce zrakové osy od optické osy oka o 5°.

Čípky slouží pro barevné a ostré vidění (fotopické vidění). Nejvíce jsou zastoupeny ve fovea centralis. Jejich využití je největší a optimální za jasného světla.

Tyčinky naopak slouží pro vidění za šera (skotopické vidění). [8, 10, 11, 12]

## 1.7 Oční základna (báze)

Oční základna je vzdálenost mezi středy zornic obou očí. Je individuální a pohybuje se v rozmezí od 55 mm do 75 mm. Střední hodnota je 65 mm pro muže a 62 mm pro ženy. [13]

## 1.8 Vizus (zraková ostrost)

Zraková ostrost vyjadřuje, jak je oko schopné rozlišit detaily. Je závislá na mnoha parametrech: místu sítnice, kam paprsky dopadají (hustota a zapojení fotoreceptorů), vzdálenosti předmětu od oka, velikosti předmětu, osvětlení, kontrastu a dalších.

Zrakovou ostrost vyjadřuje rozlišovací mez oka (minimum separabile). Aby oko mohlo rozlišit dva body, musí jejich obrazy dopadat na dva nesousední čípky, to znamená, že mezi nimi musí zůstat minimálně jeden čípek nepodrážděný. Minimum separabile odpovídá zornému úhlu 1 úhlové minuty. Se vzdáleností od žluté skvrny zraková ostrost klesá. [8, 10, 11]

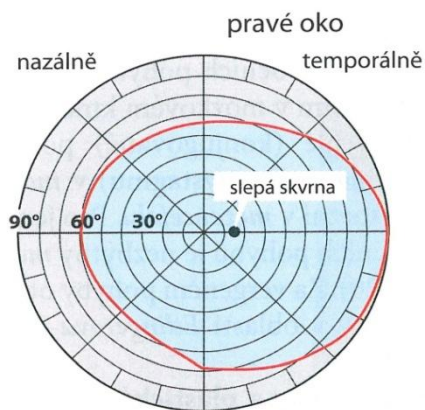
## 1.9 Zorné pole

Zorné pole (FOV = Field of View) můžeme rozlišit monokulární a binokulární.

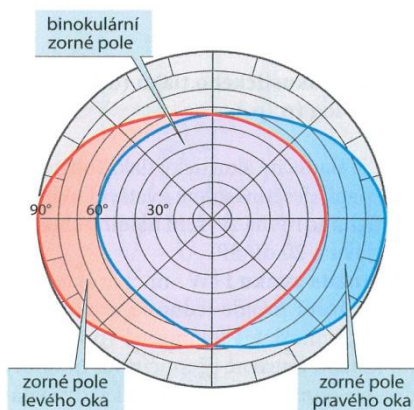
Monokulární FOV je oblast vnějšího prostředí, kterou je schopno vnímat jedno oko. Monokulární FOV je závislé na parametrech obličeje každého člověka, zejména nosu a stropu

očnice, a tudíž je individuální (i v rámci očí jednoho člověka) a nemá kruhový tvar. Temporálně má větší rozsah než nazálně (viz obrázek 3).

Binokulární FOV vzniká v místě překrytí monokulárních FOV obou očí (viz obrázek 4). [8, 12]



Obrázek 3: Monokulární zorné pole, převzato z [12]



Obrázek 4: Binokulární zorné pole, převzato z [12]

## 1.10 Zraková dráha

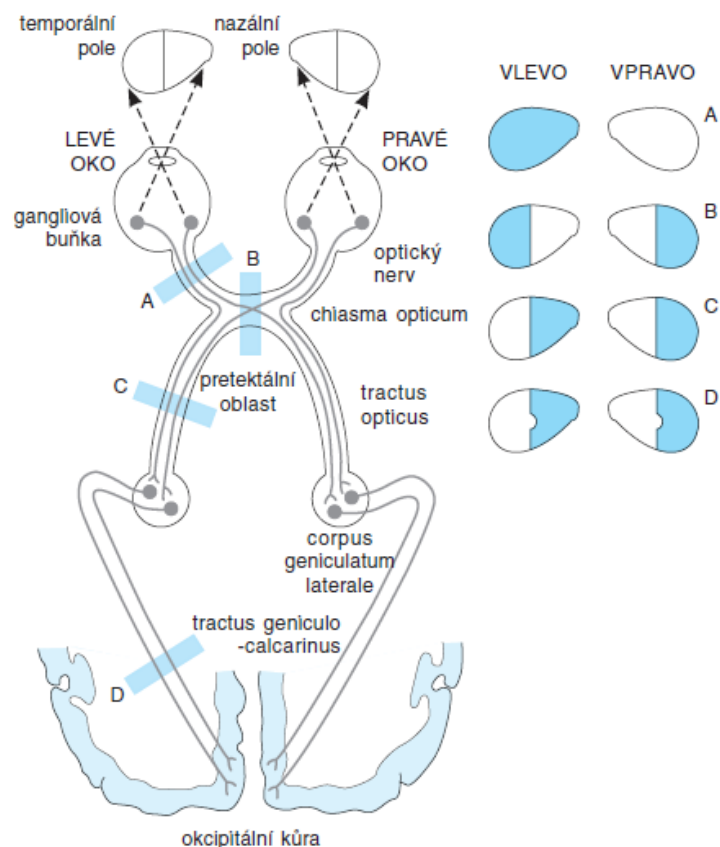
Zorné pole každého oka lze rozdělit na dvě části – temporální a nazální. Optický aparát oka způsobí, že na sítnici se zobrazí obraz stranově i výškově převrácený, a tudíž se scéna v temporálním poli zobrazí v nazálním poli sítnice.

Gangliové buňky ze sítnice se spojují svými axony v optický nerv (nervus opticus) a poté tractus opticus, který vede až do corpus geniculatum laterale. Vlákně každého z temporálních polí sítnice (nazální části zorného pole) vede přímo do corpus geniculatum laterale na své straně. Vlákně z nazálních polí sítnice (temporální části zorného pole) se však kříží v místě nazvaném chiasma opticum, tzn., že vlákně z nazální části sítnice pravého oka vede přes chiasma opticum do levého corpus geniculatum laterale. V corpus geniculatum laterale se spojí vlákně z temporálního pole sítnice na téže straně a vlákně z nazálního pole sítnice na straně druhé s buňkami, jejichž axony se spojují v tractus geniculocalcarinus, který vede do okcipitální kůry.

V primární zrakové kůře dochází ke zpracování obrazu a přitom jsou brány v úvahu informace z obou očí. Zvláště se zpracovává informace o barvě, tvaru, pohybu a hloubce.

Zraková informace se nezpracovává jen v primární zrakové kůře, ale i v jiných korových oblastech mozku. Výsledný jednotný zrakový obraz vzniká součinností těchto dílčích částí. [8, 12]





Obrázek 5: Zrakové dráhy, převzato z [8]

### 1.11 Kritická frekvence splývání

Kritická frekvence splývání (CFF = Critical Fusion Frequency) je frekvence po sobě jdoucích událostí (obrazů), které lidské oko ještě vnímá odděleně. Při natáčení videa je žádoucí, aby frekvence byla vyšší než CFF, a tedy video bylo vnímáno nepřerušovaně. Pokud by byla frekvence nižší než CFF, pak bychom vnímali blikání. [8]

### 1.12 Poruchy binokulárního vidění

Jednou z poruch binokulárního vidění je strabismus (šilhání), což je abnormální souhyb očních bulbů. Nejčastěji se vyskytuje dynamický strabismus konvergentního typu, dále pak dynamický strabismus divergentního typu nebo paretický strabismus. Šilhání se pak může projevit amblyopií (tupožrakostí), kdy je snížena zraková ostrost, anomální sítnicovou korespondencí, až úplným chyběním binokulární spolupráce. Společným důsledkem všech typů strabismu je porušené prostorové vidění. Může např. vzniknout diplopie (dvojitě vidění).

Další z poruch, která může způsobit zhoršené binokulární vidění nebo dokonce pouze monokulární vidění, je anizometropie. Jedná se o nestejnou refrakci obou očí. Malý rozdíl v refrakci očí je obvyklý a nezpůsobuje potíže, člověk vidí dobře binokulárně. Pokud je ovšem rozdíl refrakce očí větší než 5 %, pak dochází k poruchám binokulárního vidění.

Anizeikonie je porucha, která způsobuje to, že obrazy na sítnicích obou očí mají rozdílnou velikost.

Poruchou binokulárního vidění jsou také výpadky (skotomy) zorného pole, které jsou způsobeny přerušením zrakových drah. Jak je vidět na obrázku 5, přerušení zrakové dráhy může nastat v různých místech (modré pruhy), což má za následek výpadky různých částí zorného pole. Přerušení optického nervu jednoho oka způsobí výpadek zorného pole téhož oka (na obrázku 5 označeno A). Přerušení zrakové dráhy v chiasma opticum způsobí výpadek temporálních polí obou očí (B). Tato porucha se nazývá heteronymní hemianopie. Přerušení jednoho tractus opticus vede k výpadku nazálního pole u oka na téže straně a temporálního pole u oka na straně druhé (C). Tato porucha se nazývá homonymní hemianopie. Podobně přerušení v místech tractus geniculocalcarinus vede k výpadku nazálního pole u oka na téže straně a temporálního pole u oka na straně druhé (D) s tím rozdílem, že výpadek není úplný. Dochází k tzv. úspoře makulárního vidění, kdy je zachováno vidění v oblasti žluté skvrny, ale ztrácí se schopnost periferního vidění.

Z těchto i jiných důvodů existují lidé, kteří nedokážou vnímat 3D video, jedná se zde o tzv. stereo slepotu. Stereo slepota postihuje 3–15 % populace. [6, 7, 8, 14, 15]

## 2 Binokulární vidění, stereoskopie

„Obrázky, které se promítají do obou očí, se mohou spojit v jednotný vjem (jednoduché či jednotné binokulární vidění)“. [10]

Oproti 2D obrazu má prostorový obraz 4 vjemy navíc:

- 1) stereoparalaxa – každé oko vidí mírně odlišný obraz
- 2) pohybová paralaxa – změna úhlu pohledu při pohybu hlavy
- 3) zaostřování – ostření na zvolený objekt
- 4) konvergence – obě oči konvergují na zvolený objekt. [16]

S tím souvisí pojem stereoskopie, což je schopnost sloučit dva mírně odlišné plošné obrazy jedné scény do jednoho prostorového vjemu. Stereoskopické vidění je definováno jako: „Prostorové vidění umožňující vnímat trojrozměrnost předmětů, jejich vzdálenost a hloubku v prostoru. Podílejí se na něm obě oči, binokulární vidění a mozek, který vyhodnocuje a sjednocuje rozdíly mezi vnímanými obrazy z obou očí.“ [17] „Stereoskopický vjem vzniká, když jsou současně stimulovány lehce horizontálně disparátní body na obou sítnicích. Vertikální disparita nezpůsobuje stereoskopický vjem.“ [18]

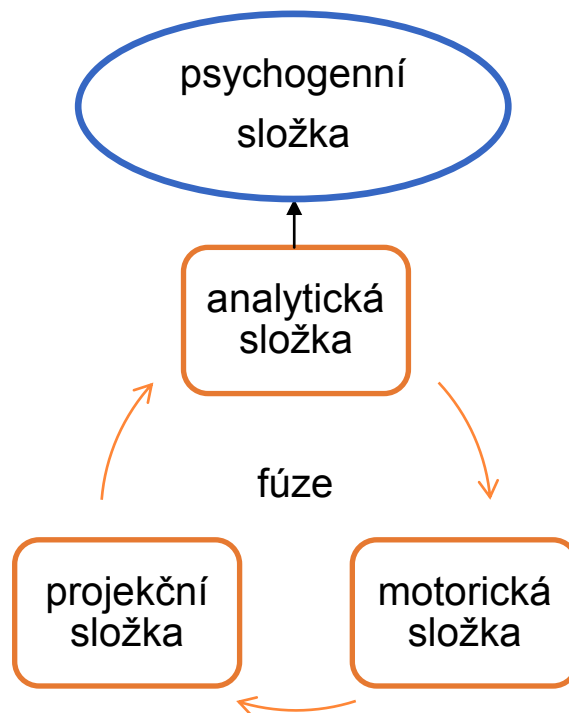
Prostorový dojem vznikne pouze za těchto podmínek:

- 1) dvě zdravé oči (korekce brýlemi nevadí)
- 2) předměty musí být v různé vzdálenosti od pozorovatele
- 3) vzdálenost pozorovatele od pozorovaných bodů nepřesáhne rádius stereoskopického pole (viz níže). [13]

Binokulární vidění je omezené pouze na binokulární FOV.

Stereoskopické vidění můžeme rozdělit na přirozené a uměle navozené. Přirozené stereoskopické vidění je sloučení dvou obrazů původně trojrozměrné scény. Uměle navozené stereoskopické vidění je sloučení dvou dvourozměrných obrazů (stereogramů) do jednoho prostorového vjemu (např. anaglyfy).

Na obrázku 6 je znázorněno schéma reflexního oblouku binokulární fúze. Reflexní oblouk obsahuje projekční (dostředivou) složku, která zahrnuje vjem obrazové informace a její převedení do mozku. Analytická (centrální) složka představuje spojení obrazů z obou sítnic a analýzu kvality a rozdílů obrazů. Projekční a analytická složka fúze dohromady tvoří senzorickou složku fúze. Motorická (odstředivá) složka slouží k zachování geometrických (pohyby očí) a optických (akomodace) podmínek pro projekční složku. Poslední složka fúze je nadřazená psychogenní složka, která zahrnuje vytvoření subjektivního vjemu.



Obrázek 6: Schéma reflexního oblouku binokulární fúze, podle [19]

Když zaostříme na určitý předmět oběma očima, dopadají paprsky na sítnici příslušného oka, a to na tzv. korespondující body. Pouze tehdy je binokulární vidění možné. Každé oko tedy vidí mírně odlišný obraz, oba obrazy (informace z korespondujících bodů) se poté v mozkové kůře spojují v jediný obraz. Tomuto ději se říká splývání (fúze).

Kromě předmětu, na který zaostříme náš zrak, vidíme binokulárně i jiné předměty, které leží na tzv. horopteru (viz níže). [8, 10, 12, 13, 18, 19]

## 2.1 Rádus stereoskopického pole

Rádus stereoskopického pole je maximální vzdálenost pozorovaných předmětů od pozorovatele, aby se ještě zobrazily prostorově. Vnímání hloubky ve větších vzdálenostech, než je rádus stereoskopického pole, napomáhají např. stíny, opar, rozdílné velikosti, ...

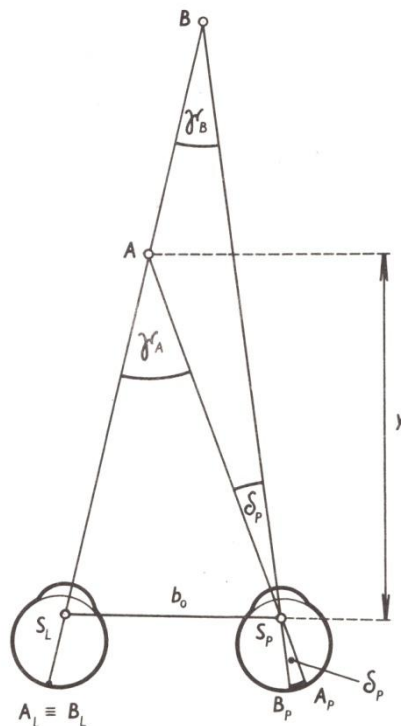
Na obrázku 7 jsou oči se středem čoček  $S_L$  a  $S_P$  a vzájemnou vzdáleností  $b_0$ , které pozorují body  $A$  a  $B$ . Jednotlivé body se zobrazují na sítnici, u levého oka do jednoho bodu  $A_L = B_L$ , u pravého do bodů  $A_P$  a  $B_P$ . Úhly  $\gamma_A$  a  $\gamma_B$  jsou konvergentní úhly. Úhel  $\delta_P$  je úhel, pod kterým oko pozoruje body  $A$  a  $B$ , a zároveň úhel, pod kterým se tyto body zobrazují na sítnici. Vzdálenost  $y$  je rádus stereoskopického pole. Pokud by byly body  $A$  a  $B$  v jedné rovině vůči očím, úhel  $\gamma_A$  by se rovnal  $\gamma_B$ , úhel  $\delta_P$  by se rovnal  $\delta_L$  a úsečka  $A_L B_L$  by se rovnala úsečce  $B_P A_P$  a vnímali bychom je jako stejně vzdálené. Pokud se nerovnají, pak jsou body  $A$ ,  $B$  vnímány v různé vzdálenosti. Rozdíl úseček  $A_L B_L$ ,  $B_P A_P$  se nazývá horizontální paralaxa.

Rádus stereoskopického pole pak můžeme vypočítat podle vzorce:

$$y = \frac{b_0}{\gamma_A}. \quad (2.1)$$

Přibližnou číselnou hodnotu můžeme dostat, když dosadíme  $b_0 = 0,065$  m a  $\gamma_A = 0,0003$  rad (minimum separabile). Výsledek je přibližně  $y = 217$  m. Za touto vzdáleností už člověk nevnímá statickou scénu prostorově.

Pokud se hýbeme (např. jízda ve vlaku), vnímáme sami sebe v klidu a scénu v pohybu, přičemž se zdá, že blízké předměty se pohybují rychleji než vzdálenější. Čím je tedy předmět vzdálenější, tím pomaleji se „pohybuje“. Tento jev se nazývá pohybová paralaxa. [12, 13, 15]



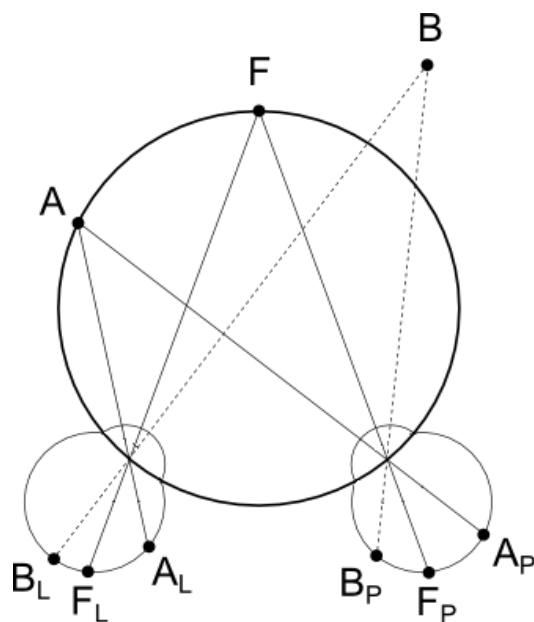
Obrázek 7: Rádus stereoskopického pole, převzato z [13]

## 2.2 Horopter

Horopter je množina bodů prostoru, které se zobrazují na korespondujících bodech sítnice, tudíž jsou viděny jednoduše. Lze jej znázornit kružnicí, ze které se při zaostření vzdáleného předmětu stává rovina.

Na obrázku 8 je schematicky znázorněn horopter. Jestliže zaostříme na bod  $F$ , vidíme jej ostře a jednoduše (promítá se do fovea centralis na korespondující body), bod  $A$  ležící rovněž na horopteru vidíme sice jednoduše, ale už méně ostře (promítá se na korespondující body ležící vpravo od fovea centralis u obou očí). Bod  $B$ , který leží mimo horopter, vidíme dvojitě, protože se promítá na nekorespondující (disparátní) body sítnice.

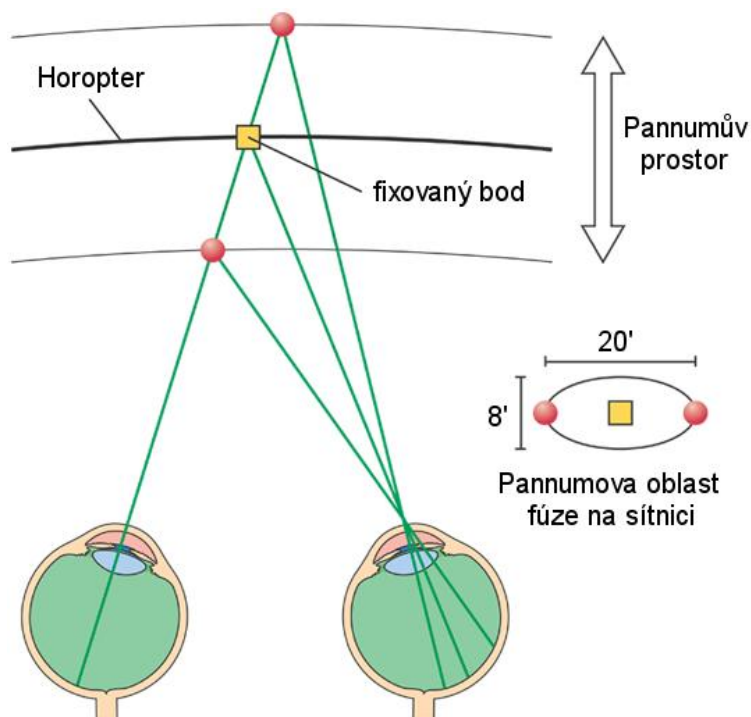
Jiný případ nastane, pokud by bod  $B$  byl sice mimo horopter, ale přesně za bodem  $F$ , a to v dostatečně malé vzdálenosti. Pak by se nezobrazil dvojitě, ale prostorově. To stejné platí, pokud by bod  $B$  byl před bodem  $F$ . Tímto způsobem vzniká hloubkový vjem – prostorové vidění. [10, 12]



Obrázek 8: Horopter, podle [10]

## 2.3 Pannumův prostor

Pannumův prostor je oblast kolem horopteru, ve které je ještě možné prostorové vidění. Body v Pannumově prostoru se promítají na lehce disparátní místa sítnice, dojde k fúzi obou obrazů a tím je umožněno vnímání prostoru. V blízkosti fixovaného bodu je hloubka Pannumova prostoru menší, směrem k periferii se zvětšuje. Předměty, které jsou v Pannumově prostoru, jsou vnímány jednoduše a prostorově. Pannumův prostor se promítá na sítnici. Z obrázku 9 jsou patrné i jeho rozměry. [18, 20]



Obrázek 9: Pannumův prostor, převzato a upraveno podle [21]

## 2.4 Disparita

Kdybychom mohli obrazy, které vznikají na obou sítnicích, superponovat do jednoho, zjistili bychom jejich vzdálenost (posun) v horizontálním směru. Tato vzdálenost korespondujících bodů obrazu se nazývá disparita. Objekt, na který jsou oči zaostřené (na který konvergují), má nulovou disparitu. Na obrázku 10 je znázorněna nenulová disparita, což znamená, že oči na tento objekt nekonvergují. [22]



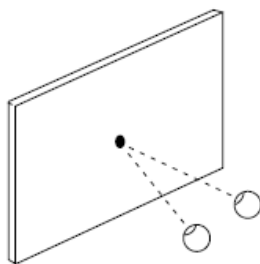
Obrázek 10: Disparita, převzato z [22]

## 2.5 Paralaxa

Paralaxa je stejně jako disparita vzdálenost korespondujících bodů v obraze (horizontální posun), ale nikoli na sítnici, nýbrž na obrazovce či plátně. Je to v podstatě posuv obou obrazů stereogramu, pokud se na něj díváme bez brýlí. Existuje několik typů paralaxy:

### a) nulová paralaxa

Korespondující body obou obrazů leží v jednom místě (na sobě). Optické osy očí se protnou (konvergují) na plátně či monitoru.

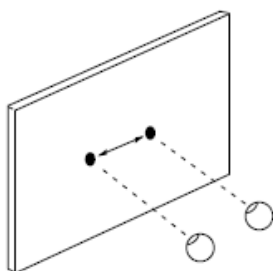


Obrázek 11: Nulová paralaxa, převzato z [22]

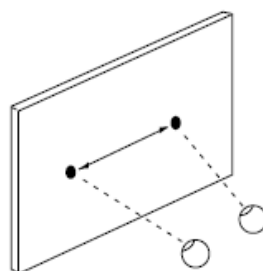
### b) pozitivní paralaxa

Optické osy obou očí se protnou za plátnem či obrazovkou nebo jsou paralelní a protínají se v nekonečnu. Tento případ přirozeně nastává, pokud se díváme na velmi vzdálené objekty. Při uměle navozeném stereoskopickém vidění s použitím monitoru tento případ nastane, pokud je paralaxa stejná nebo velmi blízká oční bázi. Pozorovaný předmět se zobrazí za obrazovkou či plátnem. Předpokládá se, že při použití malého monitoru a hodnotách paralaxy stejných či podobných velikosti oční báze bude sledování nepohodlné.

Speciálním případem je divergentní paralaxa. Optické osy v tomto případě divergují, protože paralaxa je větší než velikost oční báze. Divergentní paralaxa je pro umělé stereoskopické vidění neopodstatněná a způsobuje nepohodlí diváka.



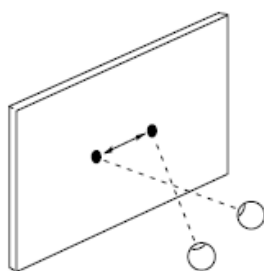
Obrázek 12: Pozitivní paralaxa, převzato z [22]



Obrázek 13: Divergentní paralaxa, převzato z [22]

### c) negativní paralaxa

Optické osy očí se protínají před obrazovkou nebo plátnem. Objekty s negativní paralaxou vidí pozorovatel blíže než plátno, jsou tzv. v divákově prostoru. [22]



Obrázek 14: Negativní paralaxa, převzato z [22]

Jiný zdroj uvádí, že stereoskopická paralaxa je úhel, který svírají osy obou očí při pozorování blízkého předmětu. [11]

Na velikost paralaxy má vliv několik parametrů, což je patrné z jejich vzájemného vztahu:

$$P_m = M \cdot f_c \cdot t_c \cdot \left( \frac{1}{d_0} - \frac{1}{d_m} \right), \quad (2.5)$$

kde  $P_m$  je maximální hodnota paralaxy,  $M$  zvětšení (závisí na velikosti promítací plochy),  $f_c$  ohnisková vzdálenost objektivu,  $t_c$  velikost stereobáze,  $d_0$  vzdálenost objektu, který má nulovou paralaxu, a  $d_m$  maximální vzdálenost objektu ve scéně.

Objekt s nulovou paralaxou je ten, který se na obou snímcích dokonale kryje (někdy může jít jen o část objektu). Vše, co je za tímto objektem (částí objektu), má pozitivní paralaxu a vše, co je před, má negativní paralaxu.

Z uvedených parametrů lze nejjednodušeji měnit (případně i softwarově) velikost stereobáze, s tou se pak mění i výsledný hloubkový vjem. Ze vzorce je také zřejmé, že čím větší bude promítací plocha, tím větší bude paralaxa. [22]



## 2.6 Stereobáze

Stereobáze je analogií oční báze, ovšem pro snímanou scénu. Je to vzdálenost optických os objektivů dvou kamer či fotoaparátů. Čím je tato vzdálenost menší, tím menší je prostorový vjem a naopak. Oční báze se pohybuje od 55 mm do 75 mm. První možnost je zvolit stereobázi v tomto rozmezí, tzv. ortostereo. Toto nastavení nejvíce napodobuje lidské vidění a je tak nejpřirozenější. Další možnost se nazývá hypostereo a stereobáze je v tomto případě menší než oční báze. Hypostereo se používá ve filmech promítaných v kině a také pro filmování makro záběrů. Poslední možností je hyperstereo, kdy je stereobáze větší než oční báze.

Stereobáze se volí podle typu snímané scény. Pro záběry blízkých předmětů (např. hmyz) je vhodnější hypostereo. Pro snímání vzdálených předmětů (např. hory) je lepší použít hyperstereo. [23]

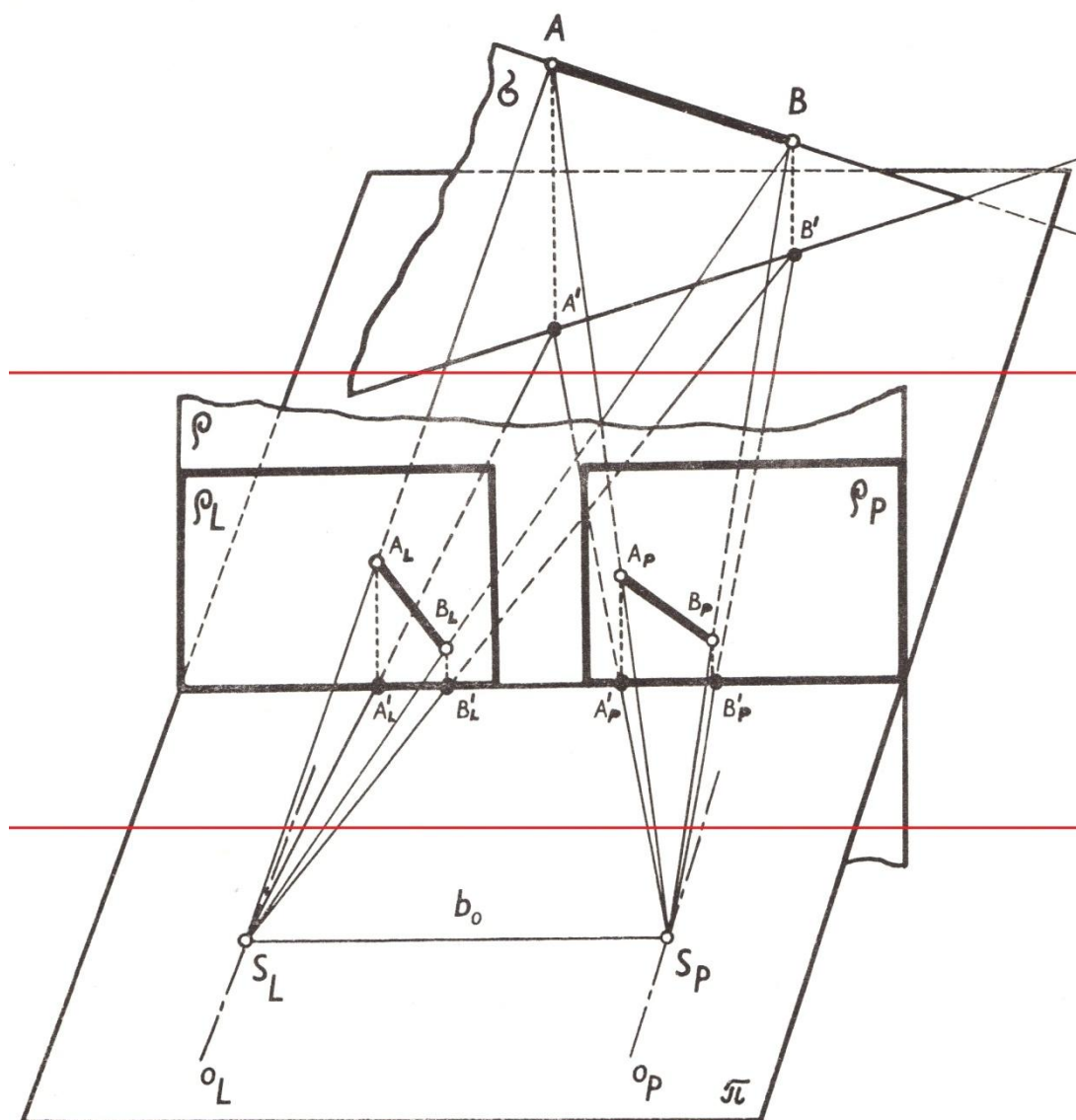
## 2.7 Princip umělého stereoskopického vidění

Princip stereoskopického vidění bude vysvětlen pomocí obrázku 15. Celý obrázek můžeme rozdělit na 3 části: oči (dolní třetina), dvojrozměrný obraz – uměle navozené stereoskopické vidění (prostřední třetina), trojrozměrný obraz – přirozené stereoskopické vidění (horní třetina).

Body  $S_L$  a  $S_P$  představují středy čoček levého a pravého oka. Úsečka  $b_0$  je oční báze. Úsečka  $AB$  představuje trojrozměrný předmět, leží v rovině  $\sigma$ , která je kolmá na rovinu  $\pi$ , ale není kolmá na úsečku  $S_LS_P$  (není kolmá na oční bázi), což zaručuje její trojrozměrnost vzhledem k postavení očí. V rovině  $\rho$  (průmětna), která je také kolmá na rovinu  $\pi$  a zároveň rovnoběžná s úsečkou  $S_LS_P$  a nerovnoběžná s rovinou  $\sigma$ , se nachází obdélníkové řezy  $\rho_L$  a  $\rho_P$ . Paprsek  $S_LA$  protíná obdélník  $\rho_L$  v bodě  $A_L$ , paprsek  $S_LB$  v bodě  $B_L$ . Úsečka  $A_LB_L$  je průmětem úsečky  $AB$  do roviny  $\rho$  pro levé oko. Podobně pro obdélník  $\rho_P$ , paprsek  $S_PA$  jej protíná v bodě  $A_P$  a paprsek  $S_PB$  v bodě  $B_P$ , úsečka  $A_PB_P$  je průmětem úsečky  $AB$  do roviny  $\rho$  pro pravé oko.

Obě úsečky  $A_LB_L$  i  $A_PB_P$  jsou zmenšené oproti původní úsečce  $AB$ , ale nemusí být navzájem stejně velké a nejsou totožné. Levé oko tedy vidí úsečku  $AB$  jako  $A_LB_L$  a pravé oko jako  $A_PB_P$ . Obdélník  $\rho_L$  je obrazem pro levé oko a  $\rho_P$  pro pravé oko. Úsečky  $A_LB_L$  a  $A_PB_P$  jsou dvojrozměrné obrázky původní trojrozměrné scény (úsečky  $AB$ ) a nazývají se stereogram.

Při pozorování stereogramu se přímka  $S_LA_L$  protne s přímkou  $S_PA_P$  v bodě  $A$ , který budeme vnímat blíž a výš. Přímka  $S_LB_L$  se protne s přímkou  $S_PB_P$  v bodě  $B$ , který je vnímán dál a níž. Tímto způsobem se zobrazí všechny body trojrozměrného objektu. Výsledkem je prostorový dojem úsečky  $AB$ . Tato úsečka (nebo kterýkoli jiný předmět takto zobrazený) je virtuální.



Obrázek 15: Princip umělého stereoskopického vidění, převzato a upraveno podle [13]

Pro „iluzi“ trojrozměrnosti je nutné zajistit, aby každé oko vidělo pouze svůj obraz ze dvou obrazů stereogramu. [13]

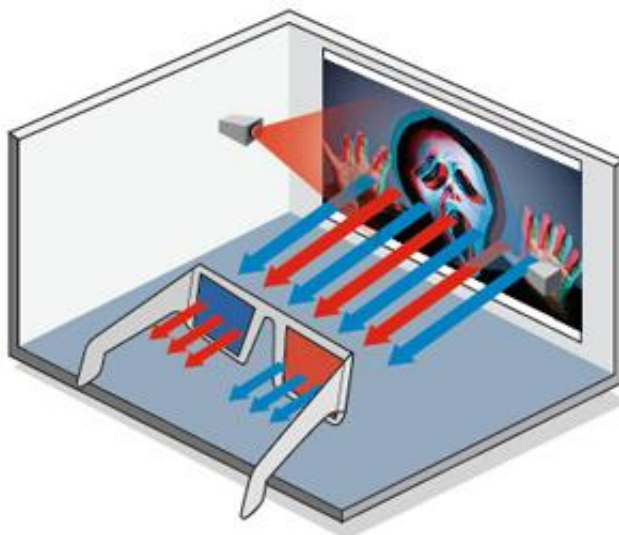
## 3 Metody 3D projekce

Aby každé oko vidělo pouze jeden obraz – levé oko obraz určený pro levé oko, pravé oko obraz určený pro pravé oko, je nutné provést selekci dílčího obrazu ze stereogramu. Existuje několik metod jak toho docílit. V této práci se budu zabývat zejména těmi metodami, které používají speciální brýle.

Projekce lze rozdělit na dvě skupiny – pasivní a aktivní. Rozdíl pasivní a aktivní projekce je právě v konstrukci brýlí, které u pasivní projekce nepotřebují dodávat žádnou energii pro svoji funkci, nejsou elektricky napájené. [24, 25]

### 3.1 Anaglyf

Jednou z pasivních projekcí je anaglyf. Brýle jsou tvořeny skly či fóliemi, z nichž každá má jinou barvu. Barvy jsou vzájemně doplňkové. Nejčastěji se používá červená a modrozelená (cyan). Dále jsou potřeba dva horizontálně mírně posunuté snímky. U jednoho z nich se odstraní červená barevná složka a u druhého modrá nebo modrá i zelená. Každé oko tedy vidí jen ty barevné složky, které nejsou filtrovány filtrem pro dané oko. Tato metoda je hojně používaná, protože anaglyfy lze sledovat jak na monitoru či plátně, tak i tištěné. Je to navíc nejlevnější metoda 3D projekce ze zde uvedených. Zásadní nevýhodou je nemožnost reálného podání barev, a to právě z důvodu barevnosti brýlí. Často se také vyskytují tzv. duchy, které zhoršují kvalitu výsledného zrakového vjemu. Sledování anaglyfů způsobuje u některých diváků diskomfort. [25, 26, 27]



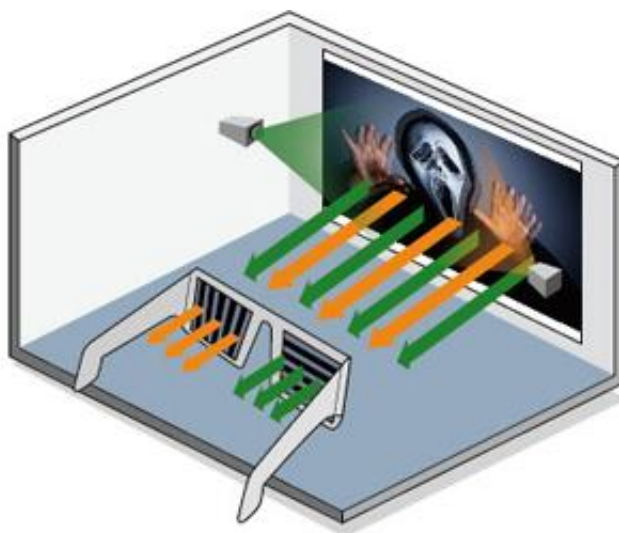
Obrázek 16: Princip anaglyfové projekce, převzato z [25]

### 3.2 Polarizační projekce

Polarizační projekce je jednou z metod pasivní projekce. Používají se speciální brýle s polarizačními filtry v obroučkách. Tyto filtry jsou vždy vzájemně otočeny o 90°. Divákovi tedy vstupuje do každého oka jinak polarizovaný obraz, čímž je umožněno vnímání hloubky

(trojrozměrnosti). Polarizační filtry mohou být buď lineární, nebo cirkulární. Lineární polarizační filtry umí lépe potlačit nechtěný obraz než filtry cirkulární. Jejich nevýhodou ovšem je to, že pozorovatel musí mít hlavu stále rovně, protože natočení hlavy by mohlo způsobit nechtěné smíchání obrazů. Použitím cirkulárních polarizačních filtrů se lze tomuto problému vyhnout.

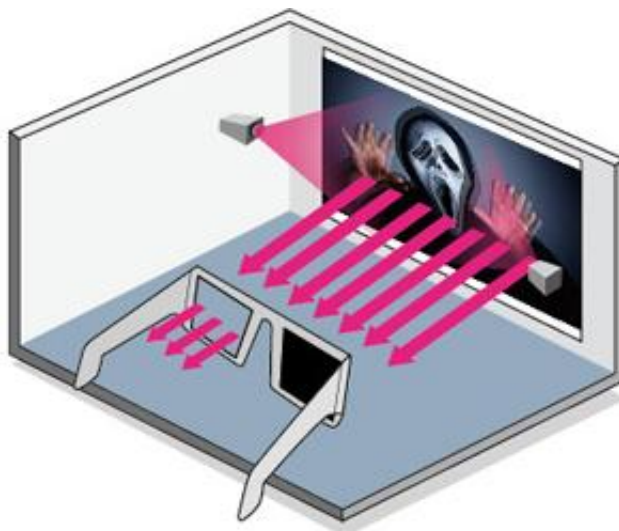
K polarizační projekci jsou kromě brýlí potřeba ještě dva dataprojektory, dva polarizační filtry k dataprojektorům a speciální plátno. Dataprojektory jsou umístěny tak, aby se pravý a levý obraz zcela překrývaly. Každý projektor má před svým objektivem polarizátor natočený stejně jako odpovídající polarizační filtr v brýlích. Aby nedošlo ke ztrátě polarizace, používá se stříbrné (metalizované) plátno. Stříbrný povrch plátna je také výhodný pro větší odraz světla, kterého je méně, protože prochází polarizačními filtry, a tudíž se jeho intenzita snižuje. S tím souvisí i použití výkonnějších projektorů s vyšší hodnotou světelného toku (jednotka lumen). [24, 25, 26, 28]



Obrázek 17: Princip polarizační projekce, převzato z [25]

### 3.3 Aktivní 3D projekce – shutter glasses

Aktivní technologie 3D projekce je založená na použití brýlí, které jsou napájeny elektrickou energií. Obraz je možné sledovat na plátně, monitoru či televizi. Obraz se promítá s dvojnásobnou frekvencí oproti klasickému promítání, přičemž za sebou jsou umístěny střídavě snímky pro pravé a levé oko. Brýle střídavě zatmívají pravé a levé oko, proto se jim anglicky říká „active shutter glasses“. Každé oko ve výsledku vidí jen obraz, který je mu určen. Nutná je ovšem synchronizace brýlí a zdroje vysílání, ta se většinou realizuje kabelem nebo bezdrátově pomocí IrDA. Výhodou je, že k promítání není potřeba speciální plátno jako u polarizační projekce a také to, že jsou zachovány všechny barvy na rozdíl od anaglyfů. K promítání na plátně stačí jediný projektor, ovšem s obnovovací frekvencí nejméně 120 Hz a již zmíněná synchronizace. Tato projekce je vhodná pro menší počet diváků. [24, 25, 29]



Obrázek 18: Princip aktivní projekce – shutter glasses, převzato z [25]

### 3.4 3D projekce bez brýlí

Za projekci bez 3D brýlí lze považovat např. metodu, kdy má člověk na hlavě náhlavní soupravu, jejíž součástí jsou dva malé displeje. Každý z nich zobrazuje obraz pro dané oko.

Další alternativou k 3D brýlím jsou tzv. autostereoskopické displeje. Lze je dělit na dvounáhledové a vícenáhledové. Prvně zmíněné displeje jsou určeny pouze pro jednoho diváka. Mohou být doplněny systémem sledování polohy hlavy, který přizpůsobuje obraz tak, aby byl stále prostorový. Vícenáhledové displeje může sledovat více diváků najednou, což je řešeno speciální soustavou čoček. Nepotřebují systém sledování polohy hlavy.

Dnes je nejčastěji používanou metodou pro tvorbu autostereoskopických displejů tzv. prostorový multiplex. Monitor je plochý (LCD nebo plazmový) a obsahuje soustavu lentikulárních čoček nebo parallaxní bariéry. Obraz je pak „rozdělen“ na sudé a liché sloupce, z nichž jedno oko vidí sudé a druhé liché. [16]

### 3.5 Rozmístění diváků v prostoru

Obecně platí, že pozice diváka vůči plátnu má vliv na vnímání 3D videa. Čím větší je vzdálenost mezi divákem a plátnem, tím větší může být paralaxa a zároveň obraz působí více prostorově (větší rozsah hloubky). Se zvětšující se vzdáleností diváka od plátna se vzdálené předměty zdají vzdálenější a naopak předměty blízké bližší. Důležité je, že poměr stran jednotlivých předmětů v obraze zůstává zachován pro jakoukoli vzdálenost diváka od plátna.

Na výsledný 3D vjem má vliv také to, zda divák sedí přímo proti plátnu nebo naboku. Sledování z boku způsobuje deformaci tvaru předmětů ve scéně. Polarizační projekce navíc skýtá jeden specifický problém. Promítací plátno je metalizované a odražené světlo nelze vnímat homogenně. Sama jsem se přesvědčila o tom, že při pohledu přímo proti prostředku plátna je nejsvětlejší střed, kdežto např. při pohledu zleva je světlejší levá strana plátna (resp. obrazu), záleží tedy i na úhlu pozorování.

Poslední řada (nejvzdálenější od plátna) je pravděpodobně nejpohodlnější. V tomto případě se rozpíná divákův prostor se všemi efekty, které se v něm odehrávají, ale děj se odehrává daleko od diváka. První řady naopak poskytují nejintenzivnější zrakový vjem, děj se odehrává blízko diváka, ale na druhou stranu dochází ke kompresi divákova prostoru. Divák by se měl vyvarovat bočních pozic v první třetině místnosti.

Z popsaných důvodů nelze zajistit skupině pozorovatelů při polarizační projekci naprosto stejné podmínky. [15, 22]

## 4 Návrh snímání dynamické scény

Základním požadavkem snímání scény je identický obraz z obou kamer, jediné co bude jiné, aby vznikl prostorový vjem, bude horizontální paralaxa. Zásadní je také vyvarovat se vertikální paralaxy, která způsobuje nepřírozené pohyby očí. Všechny odlišnosti se projeví ve výsledném divákově vjemu. Může se stát, že obraz nebude vnímán prostorově, vjem bude subjektivně nepříjemný (bolest očí, hlavy) nebo obraz nemusí působit reálně.

### 4.1 Postavení kamer

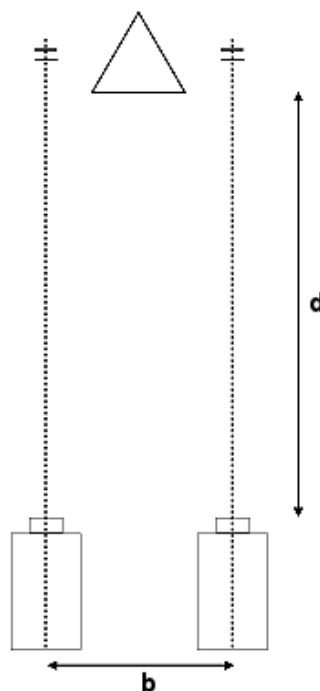
Aby obě scény byly identické (až na horizontální posun), je nejlepší zvolit paralelní (rovnoběžné) postavení kamer (viz obrázek 19). Optické osy kamer se tedy protínají v nekonečnu. V případě volby pootočení kamer k sobě by optické osy konvergovaly a vznikla by distorze (zkroucení, zkreslení) obrazu. Distorzi by bylo nutné softwarově korigovat, což není jednoduchý proces a navíc by došlo ke ztrátě kvality videa.

Aby nevznikala jiná než horizontální paralaxa, je ideální kamery umístit vedle sebe (side-by-side). K tomu dobře poslouží stativ se stereo sáňkami. Praktické je, aby stereo sáňky měly stupnici, na které je možné přesně nastavit stereobázi. Dobrou pomůckou je také vodováha umístěná na stereo sáňkách.

Dalším krokem je volba velikosti stereobáze. Ta se volí podle snímané scény. Používá se pravidlo 1/30:

$$b = \frac{1}{30} \cdot d. \quad (4.1)$$

Toto pravidlo říká, že velikost stereobáze  $b$  by měla být 1/30 vzdálenosti  $d$  mezi kamerami a nejbližším objektem ve scéně (na obrázku 19 jej představuje trojúhelník). Lze ho samozřejmě použít i obráceně, tedy mít pevně danou stereobázi (což se může stát zejména, pokud mají kamery větší rozměry a nelze je k sobě ideálně přiblížit) a dopočítat k ní nejmenší použitelnou vzdálenost nejbližšího objektu. Pravidlo 1/30 ale nemusí být platné pro všechny případy, je dobré experimentovat a pro danou scénu a zvolenou metodu 3D projekce najít vhodnou velikost stereobáze. [22, 23, 30]



Obrázek 19: Paralelní postavení kamer, pravidlo 1/30

## 4.2 Nastavení parametrů kamer

Nastavení veškerých parametrů kamer se musí provést ručně, aby byly obě kamery nastaveny identicky. Následující body by byly splněny v ideálním případě. Ne každá kamera má ovšem možnost manuálního nastavení všech těchto parametrů.

- 1) Rozlišení a formát: Nastavení stejného rozlišení i formátu ideálně tak, aby byla kvalita obrazu co nejlepší.
- 2) Vyvážení bílé: Je nutné ruční vyvážení bílé podle osvětlení snímané scény. Nelze použít automatiku, protože ta by mohla nastavit vyvážení bílé na každé kameře jinak.
- 3) Vypnutý stabilizátor obrazu: V první řadě jsou kamery umístěny na stativu, tudíž není stabilizátor obrazu potřeba. V případě použití stativu má stabilizátor spíše opačný efekt a může způsobit zhoršení kvality obrazu.
- 4) Ohnisková vzdálenost: Je lepší volit kratší ohniskovou vzdálenost pro lepší prostorový efekt. Ideálně tak, aby odpovídala FOV člověka. Je také nutné pohlídat, aby obě kamery měly stejnou ohniskovou vzdálenost, čehož lze 100% dosáhnout při nejnižší a nejvyšší ohniskové vzdálenosti (pokud není kamera řízena dálkově).
- 5) Ruční ostření: Ruční ostření zaručí, že obě kamery budou stejně zaostřeny (na objekt zájmu).
- 6) Expozice: Nastavení expozice u kamery ovlivňuje zejména clona, citlivost a nastavení korekce expozice. Tyto a případně i další parametry ovlivňující



expozici by měly být nastaveny stejně na obou kamerách v závislosti na světelných podmínkách scény. [23]

### 4.3 Synchronizace kamer

Aby byla obě videa stejná – začínala a končila ve stejný okamžik, je nutné provést časovou synchronizaci kamer. Synchronizaci by bylo ideální provést pomocí dálkového ovladače. Kamery jsou identické, tudíž by jeden ovladač ovládal obě a ve stejný čas. Další možností je softwarová synchronizace po připojení obou kamer k počítači. Ne každá kamera ale tyto možnosti nabízí. Alternativou je použití krátkého zvukového projevu o vyšší intenzitě (např. tlesnutí, klapka), případně rychlý pohyb nějakého předmětu (např. čtvrtka papíru) ve vertikálním směru před oběma kamerami.

### 4.4 Výpočet paralaxy

Ještě před natáčením stereoskopického videa je důležité si uvědomit, na jak velkou promítací plochu (monitor/plátno) se bude video promítat. Na velikosti promítací plochy je totiž závislá tzv. native pixel parallax (NPP), což by se dalo nazvat jako přirozená paralaxa vyjádřená v pixelech. Jedná se o maximální pozitivní paralaxu, kdy se ještě divák dívá paralelně (a nemusí divergovat). NPP se vypočítá podle vzorce:

$$NPP = \frac{b_0}{w} \cdot R, \quad (4.4)$$

kde  $b_0$  je velikost oční báze u člověka,  $w$  je šířka promítací plochy a  $R$  je horizontální rozlišení monitoru, případně obrazu dataprojektoru. Jestliže tedy vezmeme  $b_0 = 6,5$  cm, šířka 23" monitoru (který jsem používala pro náhled) je  $w = 50,9174$  cm a rozlišení monitoru v horizontálním směru  $R = 1920$  px, pak vychází  $NPP \doteq 245$  Px. Pro plátno, na které bude video promítáno polarizační projekcí, vychází  $NPP \doteq 33$  Px. Pozitivní paralaxa může (dle doporučení) nabývat až dvojnásobných hodnot NPP a negativní paralaxa dokonce trojnásobných až čtyřnásobných hodnot NPP. Paralaxa může ale nabývat i vyšších hodnot v závislosti na typu scény. [15, 23]

## 5 Návrh vhodných dynamických scén

Dynamické scény byly navrhovány tak, aby se s jejich pomocí daly ověřit fyziologické parametry vidění u člověka. Vybrala jsem si scény z běžného života s dostatečně velkými předměty, aby kamery mohly být v paralelním postavení. Dále jsou popsány návrhy konkrétních dynamických scén.

### 5.1 Projíždějící vlak

Projíždějící vlak je snímán z poměrně malého úhlu, tak aby jel co nejvíce proti divákovi. Cílem tohoto videa je ověření divákových reakcí na rychle se přibližující předmět a také zjištění, zda a případně kdy bude divák vnímat vlak v „divákově prostoru“, tedy před obrazovkou. Ve scéně jsou kromě projíždějícího vlaku i statické předměty, zejména sloupy a elektrické vedení v různé vzdálenosti od kamer. I diagonální vedení kolejí by mělo podporovat prostorový dojem. Diagonální směr průjezdu vlaku a konstantní rychlost by teoreticky měly podporovat kontinuální akomodaci projíždějícího vlaku. Úkolem diváků bude toto ověřit. Velikost stereobáze zde bude podobná velikosti oční báze, a to 6 cm.

V originální scéně jede vlak zleva doprava. Po promítnutí této scény bude stejné video vertikálně překlopeno, vlak tedy pojede zprava doleva. Úkolem diváka bude zhodnotit, zda má směr pohybu předmětu vliv na jeho vnímání. Předpokladem je, že přirozenější, a tudíž lépe vnímaný, je pro člověka pohyb zleva doprava (protože tak čte).



Obrázek 20: Projíždějící vlak

### 5.2 Projíždějící automobil

Celá scéna je natočena třikrát s velikostí stereobáze 6 cm, 10 cm a 12 cm. Předpokladem je, že nejvíce by měla vyhovovat velikost stereobáze kolem 6 cm, tedy

odpovídající velikosti oční báze člověka. Úkolem diváka bude zvolit nejlepší velikost stereobáze podle hloubkového vjemu a komfortu sledování.

Scény jsou natočeny na parkovišti s lesem v pozadí. Dle mého názoru je pozadí poměrně ploché. Úkolem diváků bude zhodnocení prostorovosti pozadí s ohledem na to, že pozadí není dominantním prvkem scény.

Dominantním prvkem této scény je projíždějící automobil, který v první scéně projíždí jedním směrem ve vzdálenosti 5 m od kamer. Ve druhé a třetí scéně projíždí automobil v obou směrech ve vzdálenosti 5 m a 10 m od kamer. Cílem je ověřit divákův odhad vzdálenosti projíždějícího automobilu ve scéně.



*Obrázek 21: Projíždějící automobil*

### **5.3 Barevné spektrum**

Na toto téma byla natočena dvě videa (označena I a II). Hlavním prvkem této dynamické scény je disk, na kterém je několik různě barevných výsečí (v podstatě Newtonův disk). Kruh je upevněn na vrtačce a otáčí se. Cílem scény I bylo vytvořit členitější pozadí (než u první scény – Průjezdu vlaku), proto je vrtačka umístěna na sušáku na prádlo a v pozadí jsou různě vzdálené předměty a stromy v krajině. Cílem scény je ověřit, zda divák vnímá otáčející se kruh jako bílý či nikoli. Bílá barva vznikne aditivním smícháním barev duhy, a to díky setrvačnosti vidění. Je proto nutné, aby se disk otáčel dostatečně rychle. To je sice zajištěno reálně, ale nikoli na videu, protože kamery snímají pouze 25 snímků za sekundu. Dále by divák mohl zkusit zjistit, zda se kruh otáčí po směru či proti směru hodinových ručiček. Předpokládám, že to nebude možné objektivně určit. Velikost stereobáze bude 6 cm.

V této scéně je obsažena relativně velká hloubka, to znamená různě vzdálené předměty, které diváka donutí akomodovat podle oblasti zájmu, nikoli však kontinuálně, jako tomu bylo v případě jedoucího vlaku. Úkolem diváka tedy bude také zhodnotit, zda vnímá kruh, sušák a stromky za plátnem, na plátně nebo před ním.

Scéna II je založena na postupném přibližování a oddalování točícího se barevného disku. Při velkém přiblížení disku (až téměř ke kamerám) již není možné na něj zaostřit tak, aby vznikl prostorový dojem, což by měli diváci také ověřit. Protože se jedná o velmi blízkou scénu, je zde velikost stereobáze 5 cm a zaostřeno na 0,5 m.



*Obrázek 22: Barevné spektrum I*



*Obrázek 23: Barevné spektrum II*

## 5.4 Kruhový objezd

Dominantními prvky v této scéně jsou socha Svobody a sloup s dopravními značkami. Oba prvky jsou vertikální a zabírají značnou část výšky videa, navíc je každý v jiné vzdálenosti. Ať jsou videa vůči sobě vertikálně zarovnána jakkoli, vždy někde vznikne vertikální paralaxa. Existuje proto určitá pravděpodobnost, že divák neuvidí celou scénu dobře prostorově (nebude schopný fúze obou videí). Velikost stereobáze je zvolena 6 cm.

Úkolem diváka zde bude objektivně určit, zda se socha Svobody otáčí ve směru či proti směru hodinových ručiček. A poté subjektivně určit, zda vidí celou scénu dobře prostorově.



*Obrázek 24: Kruhový objezd*



## 5.5 Větrná elektrárna

Hlavním prvkem této scény je větrná elektrárna vzdálená od kamer cca 200 m. Divákovým úkolem bude určit, zda se rotor („vrtule“) otáčí ve směru nebo proti směru hodinových ručiček.

Divák by měl také udat, jestli elektrárnu ještě vnímá prostorově, protože její vzdálenost se blíží hodnotě rádiusu stereoskopického pole (217 m). Prostorovosti by měla napomáhat velikost stereobáze, která zde byla 10 cm, a také dynamičnost scény.



*Obrázek 25: Větrná elektrárna*

## 5.6 Jízda vlakem

Tato scéna je natočena v jedoucím vlaku kolmo ke směru jízdy. Divák tedy uvidí krajinu tak, jakoby se díval z okna vlaku. Stereobáze je zvolena 6 cm. Cílem promítání této scény je ověření, zda divák vnímá pomaleji „se pohybující“ předměty jako vzdálené a rychle „se pohybující“ předměty jako blízké.



*Obrázek 26: Jízda vlakem*

## 6 Realizace snímání dynamických scén

Ke snímání navržených dynamických scén jsem používala dvě identické kamery SONY Handycam HDR-CX115EB, stativ Manfrotto 190 XPROB a stereosáňky Manfrotto 357PLONG.

Použité kamery neumožňují synchronizaci pomocí propojení s počítačem. Nebylo tedy možné kamery synchronizovat ještě před natáčením. Propojení s PC pomocí USB kabelu umožňuje pouze přenos již natočeného videa, nikoli však natáčení v reálném čase. Videa musela být tedy synchronizována softwarově až po natočení (viz níže). Ještě při natáčení byly na obou videích udělány značky v podobě zvukové špičky (tlesnutí) nebo rychlého vytažení obdélníkového předmětu (např. čtvrtky bílého papíru) před objektivy kamer.

Velkou výhodou těchto kamer je malý rozměr, což umožňuje volit i menší velikost stereobáze (minimum je 5 cm), čehož bylo využito při snímání blízkých scén. Navíc disponují HD rozlišením, tudíž lze natočit poměrně kvalitní video.

Naopak nevýhodou je nemožnost úplného manuálního nastavení kamer.

Během natáčení byly kamery umístěny na stereosáňkách s milimetrovou stupnicí. Stereosáňky i s kamerami byly umístěny na stativu s vodováhou, jak je patrné z obrázku 27. Pro dosažení pouze horizontální paralaxy (a eliminaci vertikální paralaxy) jsem použila ještě klasickou vodováhu, kterou jsem umístila na kamery.



Obrázek 27: Snímací aparatura

## 6.1 Nastavení kamer

Jak již bylo napsáno v kapitole 4.2, je nutné pro docílení stejně vypadajících videí také stejně nastavit obě kamery, což umožňuje pouze manuální nastavení.

Kamery disponují objektivy Carl Zeiss Vario-Tessar 1,8/2,5 – 62,5. Mají tedy ohniskovou vzdálenost 2,5–62,5 mm, ekvivalentní ohnisková vzdálenost (pro 35 mm snímač) je 37–1 075 mm. Čip je CMOS Exmor R typu 1/4" s rozměry: šířka = 3,6 mm, výška = 2,7 mm, úhlopříčka = 4,5 mm. Z těchto údajů lze dopočítat zorný úhel kamery podle vzorce:

$$Z = 2 \cdot \arctan \left( \frac{d}{2 \cdot f} \right), \quad (6.1)$$

kde  $Z$  je zorný úhel ve stupních,  $d$  je rozměr čipu v mm, pro který chceme počítat zorné pole, a  $f$  je ohnisková vzdálenost bez přepočtu v mm. Maximální zorný úhel je tedy přibližně 72° horizontálně a 57° vertikálně. Všechna videa byla natáčena při nejmenší ohniskové vzdálenosti (2,5 mm), protože tehdy je zajištěno, že bude ohnisková vzdálenost u obou kamer stejná.

Kvalita videa byla nastavena na „HD FH“ při poměru stran 16:9. Vyvážení bílé bylo ve všech případech nastaveno na „Outdoor“. Stabilizátor obrazu byl vypnutý. Dále byl manuálně nastaven „Výběr scény“, a to na „Landscape“. Expozice byla nastavena podle daných světelných podmínek. Zaostření probíhalo rovněž manuálně, a to nastavením v menu kamery. Používala jsem nejčastěji zaostření na nekonečno, pouze u scény „Barevné spektrum II“ bylo zaostření nastaveno na 0,5 m.

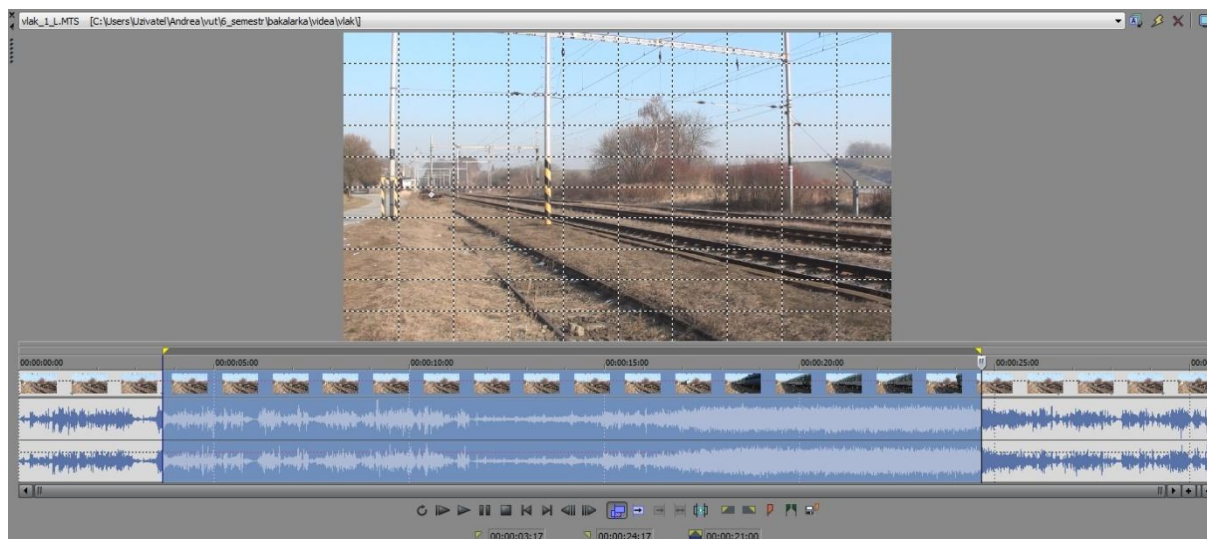
Kamera disponuje pouze formátem signálu PAL (25 snímků za sekundu), který je v České Republice běžně používán. [31]

## 6.2 Zpracování v softwaru

Ke zpracování natočených videí jsem nejprve používala program CyberLink PowerDirector v8 (8.00.3022). Z hlediska mé práce mi byly užitečné nástroje pro otočení videa, střih a následné uložení ve vhodném formátu. Zde jsem také provedla časovou synchronizaci levého a pravého videa pomocí nástroje vícenásobný střih. V tomto programu však nelze video oříznout, případně posunout tak, aby bylo možné eliminovat vertikální paralaxu. Také zde nelze uložit levé a pravé video vedle sebe (side-by-side) a nastavit vhodnou (uživatelskou) velikost videa (šířka, výška). Takto upravená videa jsem pak pro vlastní vizuální kontrolu a představu prostorovosti spouštěla v programu StereoMovie Maker (verze 1.21) anaglyfovou metodou. StereoMovie Maker má nástroje pro vertikální i horizontální posun videa, lze v něm tudíž dosáhnout optimálního prostorového zobrazení. Tyto programy však nebyly z hlediska kvality a plynulosti videa optimální.

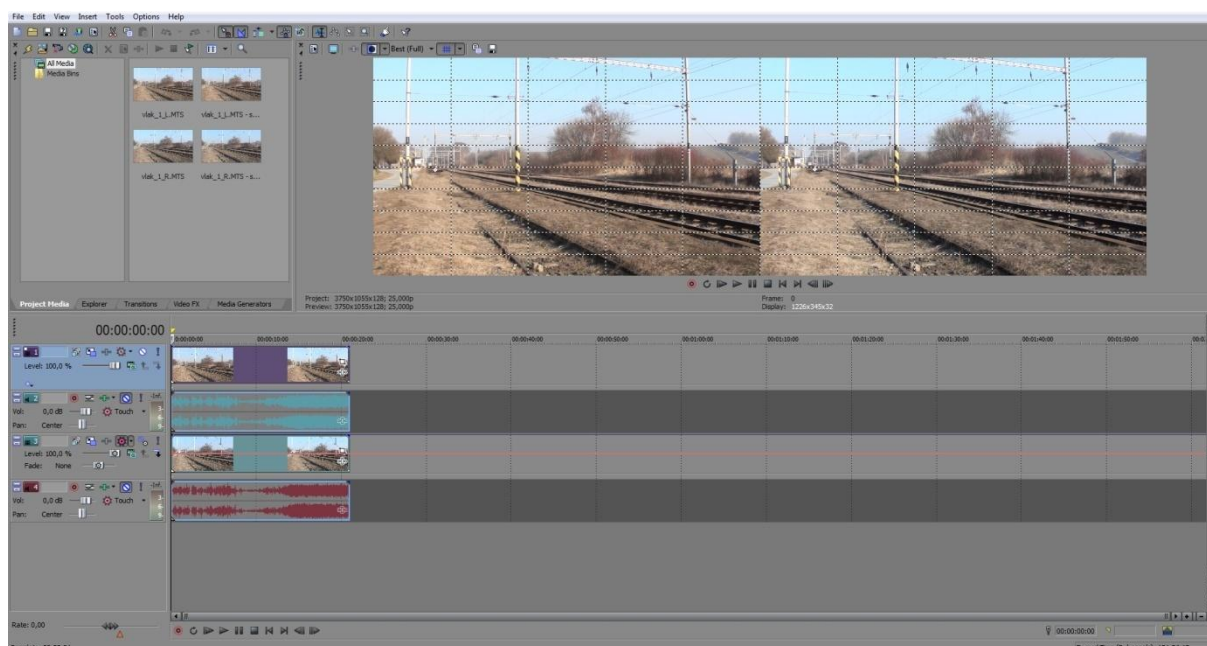
Sofistikovanější program, který nabízí více možností pro úpravu videa, je SONY Vegas Pro 11.0 (Build 595). Zde jsem nejprve provedla střih videa a tím i synchronizaci pravého a levého videa. Video jsem střihala podle zvukové nebo obrazové stopy v závislosti

na tom, jaké byly na videu v průběhu natáčení udělány značky (tlesknutí nebo vytažení čtvrtky papíru). Dobu trvání videa jsem přizpůsobila obsahu konkrétní scény. Na obrázku 28 je okno pro stříh videa v programu SONY Vegas Pro 11. Modře je zde vyznačena vystřižená část, která je použita pro další zpracování, bíle pak část, která se dále zpracovávat nebude.



Obrázek 28: Stříh videa v programu SONY Vegas Pro 11

Velkou výhodou tohoto programu je možnost nastavení uživatelských rozměrů videa, respektive prostoru, kam bude video umístěno. Program navíc podporuje zobrazení více stop najednou. Je tedy možné dát levé a pravé video vedle sebe. Praktickou pomůckou je také mřížka, podle které se dají obě videa posunovat vůči sobě. Na obrázku 29 dole je vidět obrazová a zvuková stopa levého a pod ní pravého videa. Zvuková stopa není pro účely této práce dále potřebná, a proto jsem ji ztlumila. Obrazová stopa levého a pravého videa jsou pak zobrazeny vedle sebe v okně v pravém horním rohu.



Obrázek 29: Uživatelské rozhraní programu SONY Vegas Pro 11



Dále jsem v tomto programu videa posouvala vertikálně vůči sobě, abych eliminovala vertikální paralaxu. Program umožňuje velkou přesnost posouvání, a to s krokem až jedna setina pixelu. Po posunutí jednoho videa vůči druhému jsem obě videa ořízla tak, aby nikde nezůstalo prázdné místo.

Takto předzpracovaná videa jsem dále upravovala dvěma způsoby: side-by-side a levé a pravé video zvlášť.

U prvního způsobu (tedy side-by-side) jsem nastavila výslednou velikost videa s ohledem na rozlišení dataprojektorů, které jsem měla k dispozici pro skupinové promítání. Rozlišení každého dataprojektoru je  $1\,280 \times 800$  (poměr stran 16:10). Rozlišení side-by-side videí je proto  $2\,560 \times 720$  (poměr stran 16:9). Side-by-side videa jsem na závěr renderovala (převiedla) do výstupního formátu AVI. Tento formát jako jediný umožňoval nastavit rozlišení, které jsem požadovala. S ohledem na velikost výsledného souboru bylo nutné použít kodek Microsoft Video 1 s nastavením kvality na 74,3 %. Snímkovací frekvence byla ponechána na 25 snímků za sekundu (PAL). U pořadí snímků jsem zvolila možnost „progressive scan“, tedy zobrazení celých snímků. Aby byl zachován poměr stran obrazu, je nutné zachovat i poměr stran pixelu (nastaveno na hodnotu 1,0000). Celkové nastavení výstupního videa je kompromisem mezi kvalitou, velikostí a plynulostí videa při zachování požadovaného rozlišení.

V případě druhého způsobu (každé video zvlášť) opět vycházím z předzpracovaných videí. Byla zachována eliminace vertikální paralaxy, ale změněna velikost výsledného videa tak, aby se zobrazilo pouze jedno video. Rozlišení videí je  $1\,280 \times 720$ . Tato videa jsem renderovala do výstupního formátu MPEG-2 v nejvyšší možné kvalitě a opět s nastavením „progressive scan“. Výstupní videa jsou kvalitnější než side-by-side videa a mají menší velikost.

## 7 Realizace a vyhodnocení promítání

Promítání vytvořených videosekvencí má být realizováno ve skupině pozorovatelů. Vhodnou a dostupnou metodou pro skupinové promítání je polarizační projekce. Abych mohla promítání vyhodnotit, zpracovala jsem dotazník, který mi v průběhu promítání diváci vyplnili.

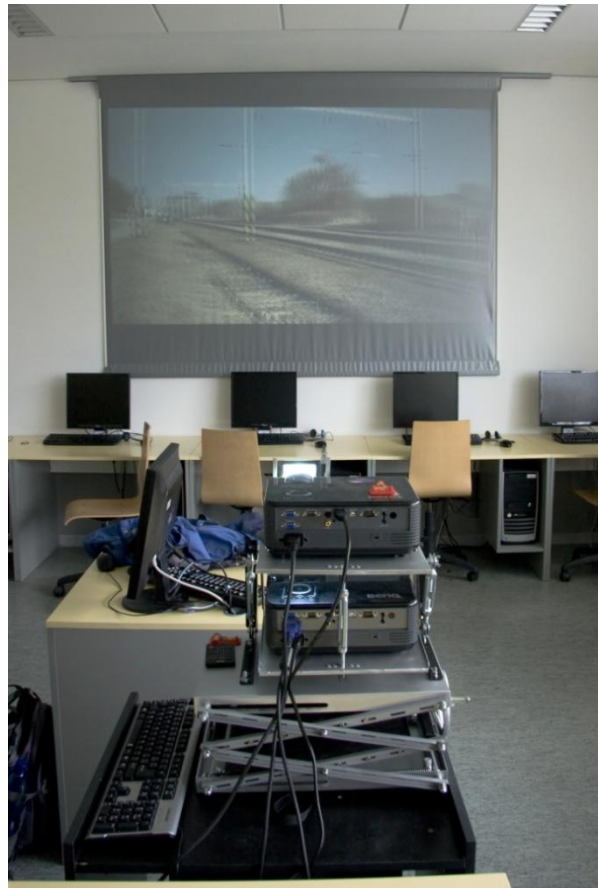
### 7.1 Realizace promítání ve skupině pozorovatelů

Pro realizaci promítání byla vybrána metoda polarizační projekce. Tato metoda je cenově dostupná a zajišťuje relativně kvalitní obraz s realistickým podáním barev (na rozdíl např. od anaglyfů). Promítání proběhlo v učebně E217 v IO – Kolejní 4, kde je nainstalováno speciální stříbrné plátno, které zachovává polarizaci. Plátno má rozměry: šířka = 2 510 mm, výška = 1 680 mm, úhlopříčka = 2 980 mm.

K promítání jsem použila promítací aparaturu, kterou v rámci své diplomové práce vytvořil Bc. Tomáš Brichta. Aparatura se skládala z pojízdného vozíku, na kterém byla umístěna kovová konstrukce se dvěma projektory s lineárními polarizačními filtry, počítač, klávesnice a myš (obrázek 30). Dva projektory jsou umístěny na kovové konstrukci nad sebou, přičemž spodní projektor je napevno a horní je možné naklápět. Konstrukce také umožňuje vertikální nastavení obou projektorů vůči pojízdnému stolku. Těmito mechanismy je možné promítnout obrazy z obou projektorů na plátno tak, aby se přesně překrývaly. Celá aparatura je umístěna vůči plátnu tak, aby obraz z projektorů zabíral téměř celou šířku plátna (obrázek 31).



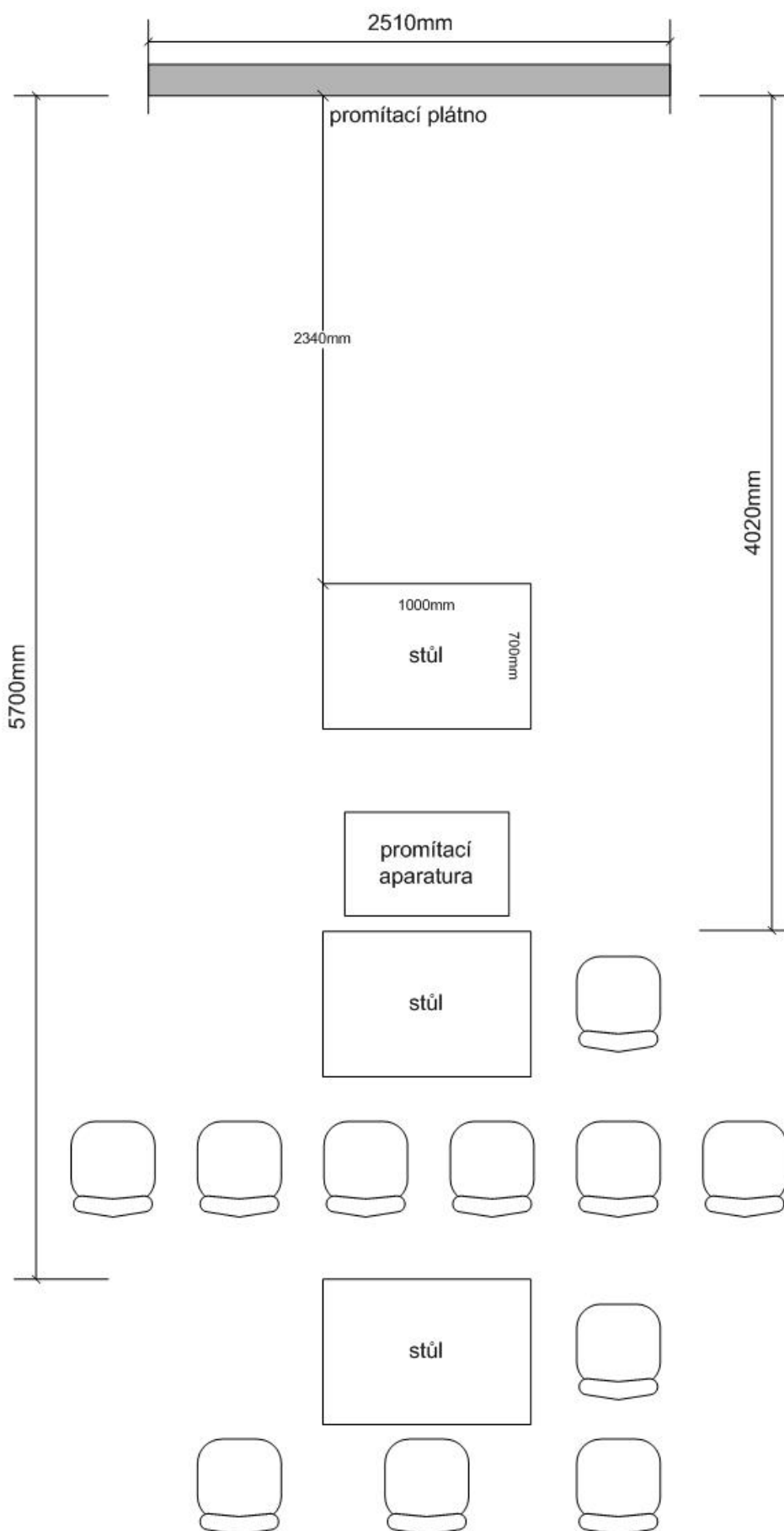
Obrázek 30: Promítací aparatura



Obrázek 31: Promítání

K promítání jsem použila program Stereoscopic Player Version 1.8. Tento program umožňuje zobrazení dvou videí side-by-side, přičemž každé je promítáno jedním projektorem se správně natočeným polarizačním filtrem (polarizační filtry jsou vzájemně otočeny o  $90^\circ$ ). Výsledkem je polarizované zobrazení obou videí na sobě na plátně.

Divákům byly na pozorování videí zapůjčeny lineární polarizační brýle. Natočení polarizačních fólií v brýlích bylo shodné s natočením polarizačních filtrů projektorů. Diváci byli rozmístěni v různé vzdálenosti od plátna (obrázek 32). Úkolem diváků bylo vyplnit připravený dotazník a zhodnotit tím různé parametry promítaných videí.



Obrázek 32: Plán rozmístění diváků při promítání

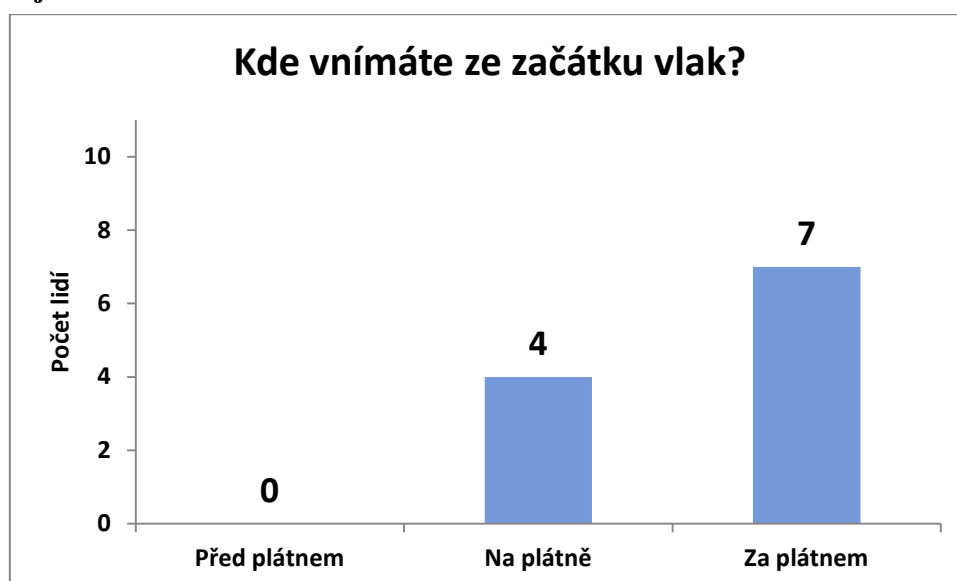
## 7.2 Vyhodnocení dotazníku

Skupina pozorovatelů obsahovala celkem 11 členů. Respondentům bylo promítnuto 6 videí, která měli zhodnotit v dotazníku (viz příloha 1).

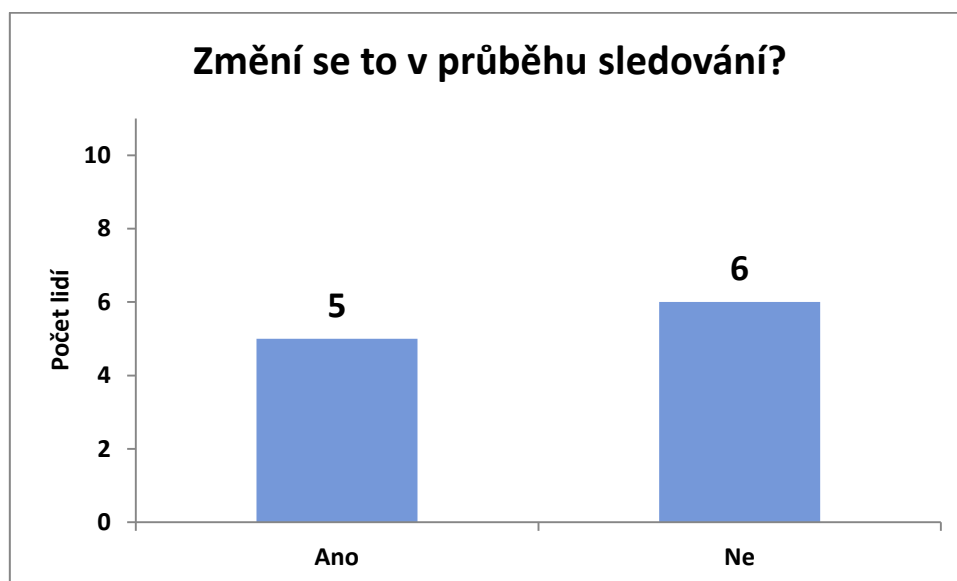
V úvodu dotazníku měli respondenti odpovědět na otázky týkající se jejich očních vad a nošení brýlí. Tři respondenti mají oční vadu – první cylindrickou (1 D) a nenosí brýle, druhý krátkozrakost a nosí brýle, třetí krátkozrakost (−2,75 D) a nosí kontaktní čočky. Vady, které respondenti uvedli, nejsou natolik závažné, aby ovlivnily prostorové vnímání videí.

Následně se budu zabývat jednotlivými položkami dotazníku.

### 1) Projíždějící vlak

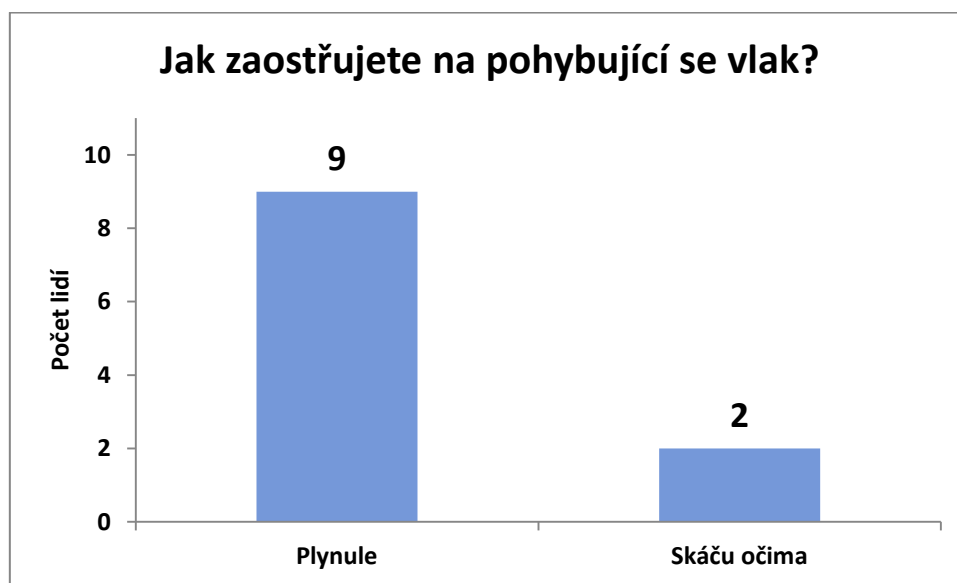


Graf 1: Vnímání pozice vlaku na začátku sledování



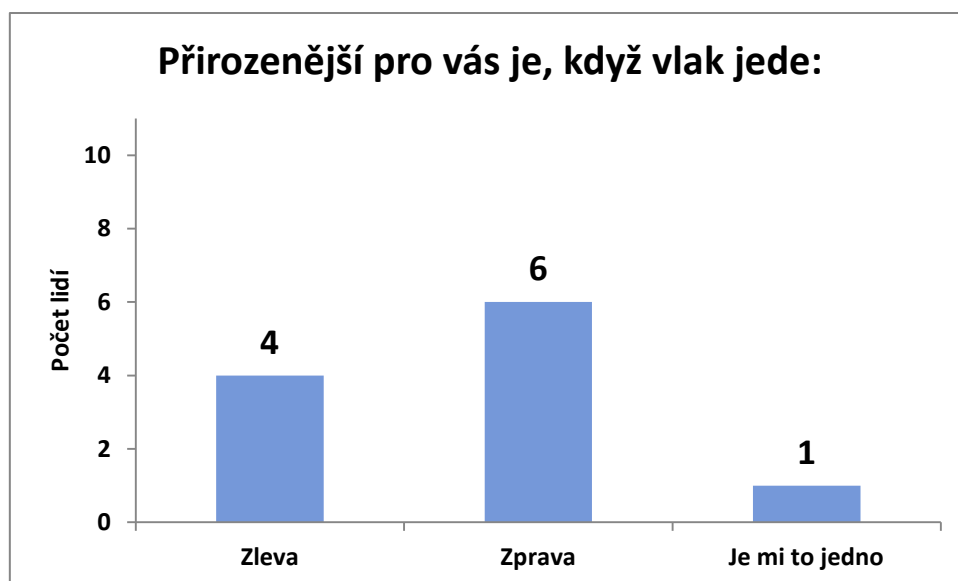
Graf 2: Vnímání pozice vlaku v průběhu sledování

Z grafu 1 je patrné, že většina respondentů vnímá ze začátku projíždějící vlak za plátnem, menší část ho vnímá na plátně. Nikdo z respondentů nevnímá na začátku vlak před plátnem, tedy v divákově prostoru. Na otázku, zda se to v průběhu sledování změní, odpověděla přibližně polovina ano a druhá ne (viz graf 2). Pokud respondent odpověděl, že se pozice vlaku vůči plátnu změní, pak měl udat, kde přibližně. Dva respondenti odpověděli, že se vnímání změní přibližně u druhé „brány“ elektrického vedení (bráno z pozice diváka), tři respondenti odpověděli, že se vnímání změní až u nejbližší „brány“ elektrického vedení (z pohledu diváka). Nezjistila jsem souvislost mezi prostorovým vjemem této scény a pozicí respondentů vůči plátnu (viz kapitola 3.5). Rozdíl je tedy způsoben subjektivitou vnímání.



*Graf 3: Způsob akomodace na projíždějící vlak*

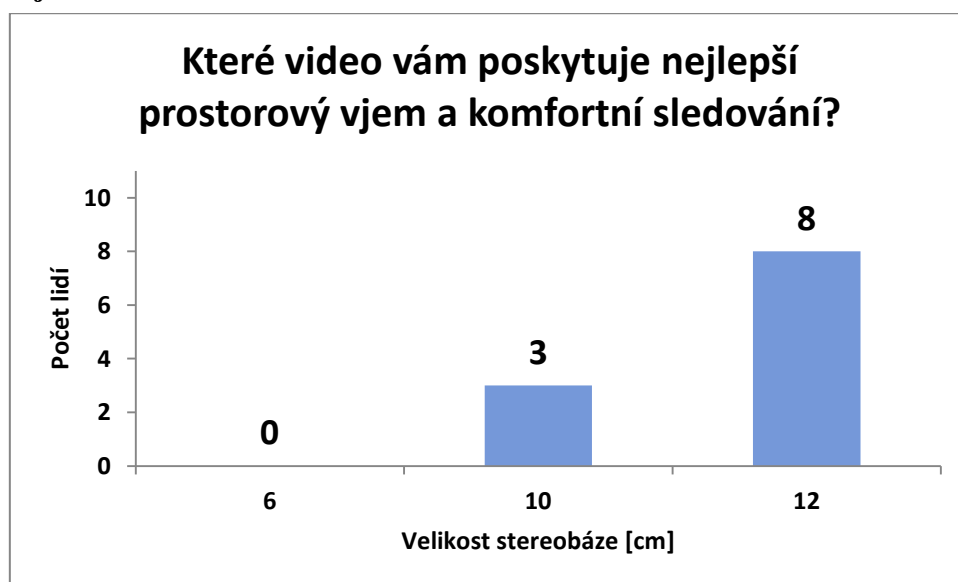
Z grafu 3 je zřejmé, že většina diváků zaostřuje na přibližující se vlak plynule, což jsem předpokládala, protože vlak jede v diagonálním směru a konstantní rychlostí.



*Graf 4: Vnímání směru pohybu vlaku*

Scéna s projíždějícím vlakem byla promítnuta tak, aby vlak jel nejprve zleva a poté i zprava. Graf 4 ukazuje, že pro více než polovinu respondentů byl přirozenější pohyb vlaku zprava doleva, jeden respondent v tom neviděl rozdíl, a zbylí čtyři respondenti považují za přirozenější pohyb zleva doprava. Předpoklad, že přirozenější je pohyb zleva doprava, protože tak čteme, se nepotvrdil.

## 2) Projíždějící automobil



*Graf 5: Vliv velikosti stereobáze na prostorový vjem a komfortní sledování*

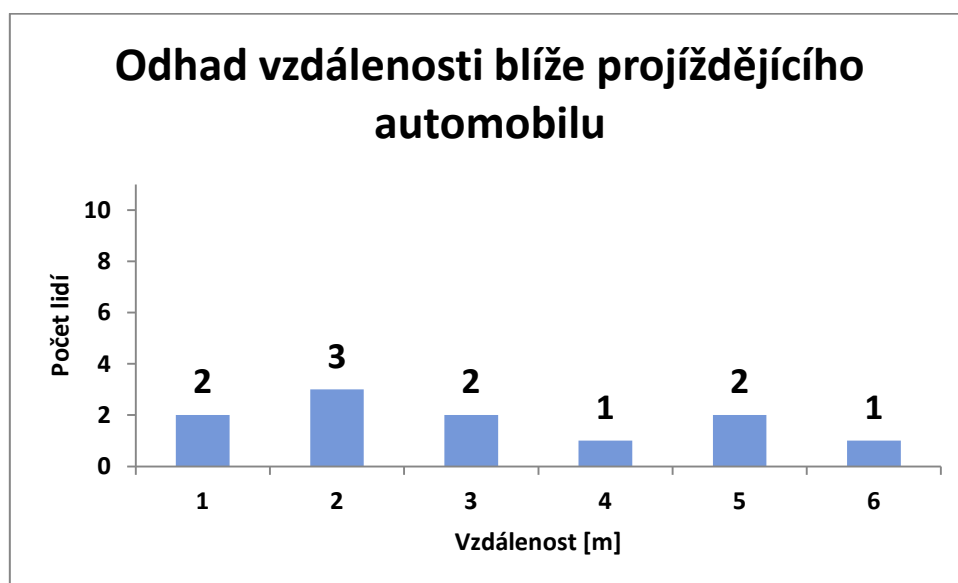
V grafu 5 je vidět, že velikost stereobáze má vliv na prostorový vjem a komfortní sledování. Se zvyšující se velikostí stereobáze se zlepšuje i prostorový vjem. Přibližně tři čtvrtiny respondentů považují za nejlepší velikost stereobáze 12 cm, zbylé čtvrtině vyhovuje velikost stereobáze 10 cm. Nikdo nepovažuje za nejlepší nejmenší velikost stereobáze 6 cm,

která odpovídá velikosti oční báze člověka. Předpoklad, že bude respondentům nejvíce vyhovovat velikost stereobáze právě 6 cm se tedy nepotvrdil.



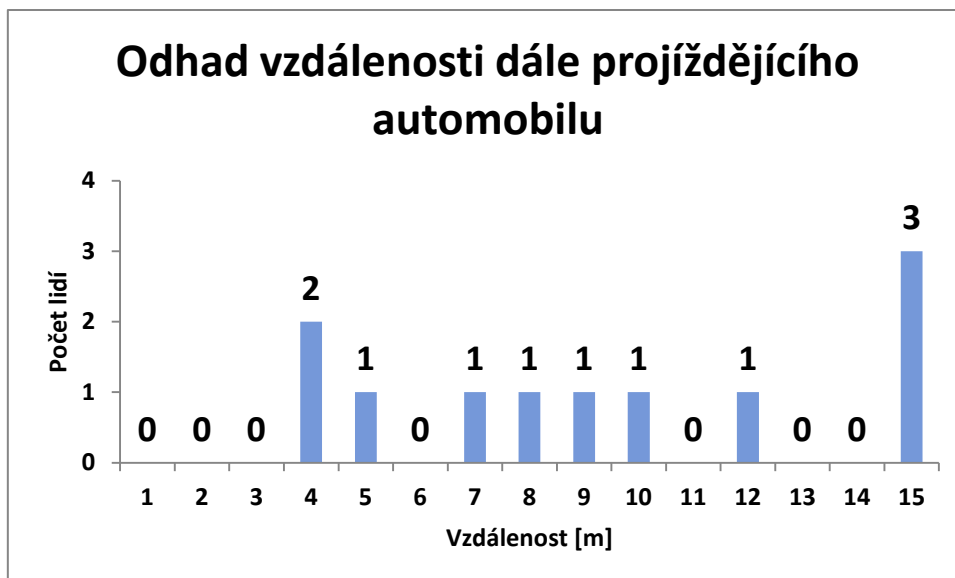
Graf 6: Vnímání pozadí

Předpokladem bylo, že pozadí bude působit ploše. Z grafu 6 je ovšem patrné, že na více než polovinu lidí působí pozadí prostorově. Předpoklad se nepotvrdil.



Graf 7: Odhad vzdálenosti blíže projíždějícího automobilu

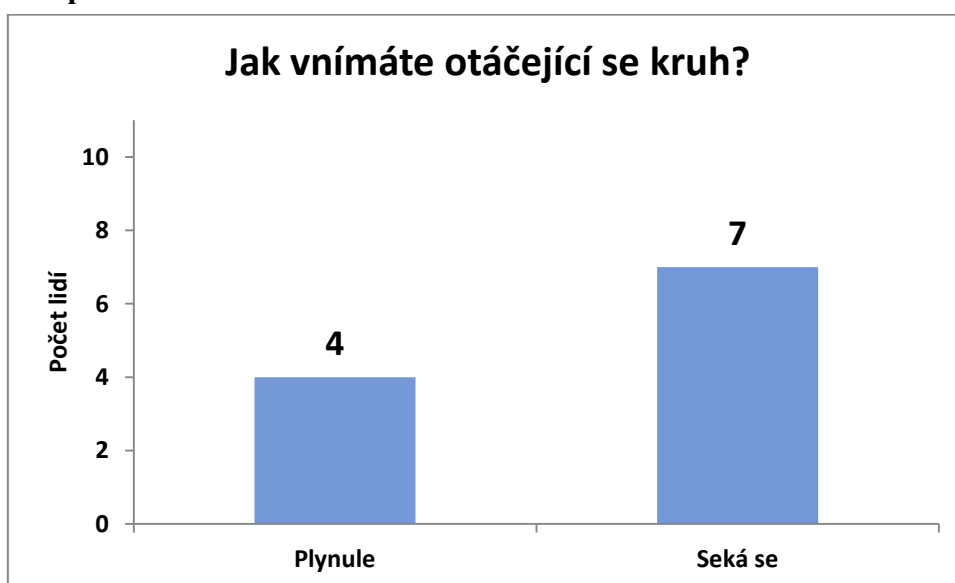




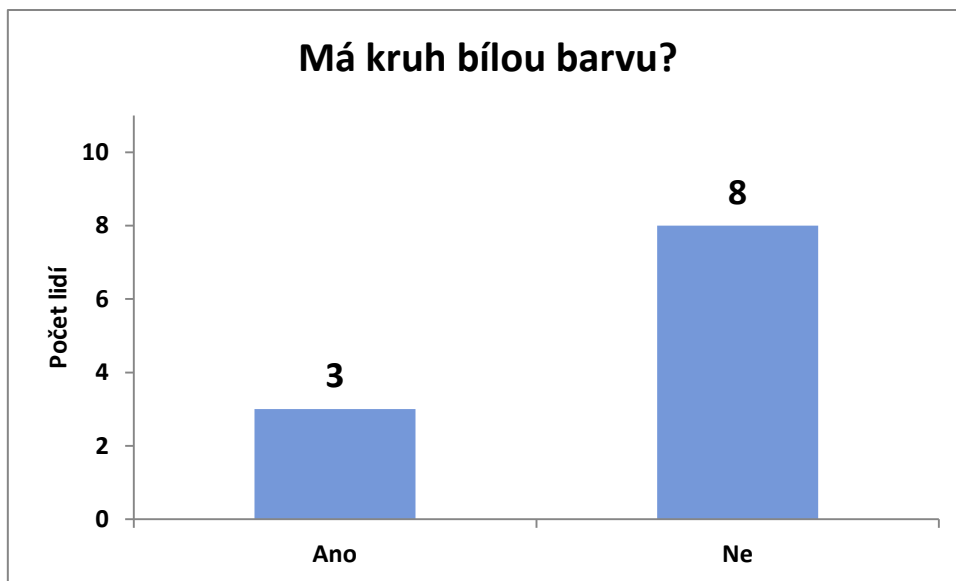
Graf 8: Odhad vzdálenosti dále projíždějícího automobilu

V grafech 7 a 8 je vidět, že odhad vzdáleností se u jednotlivých respondentů dost liší. Pouze dva respondenti odhadli vzdálenost blíže projíždějícího automobilu správně (5 m), většina respondentů odhadovala vzdálenost menší. Odhad vzdálenosti dále projíždějícího automobilu byl, jak je vidět, ještě více individuální. Zajímavé je, že nejvíce respondentů (tři) odhadli vzdálenost na 15 m, dva respondenti pak na 4 m. Oba tyto odhady vzdáleností jsou v rámci skupiny respondentů extrémní. Správnou vzdálenost (10 m) odhadl pouze jeden respondent. Žádný respondent neodhadl obě vzdálenosti správně. Nenašla jsem ani souvislost mezi odhadem vzdáleností projíždějícího automobilu a pozicí respondentů vůči plátnu. Z toho vyplývá, že při hodnocení vzdálenosti hraje značnou roli subjektivita.

### 3a) Barevné spektrum I

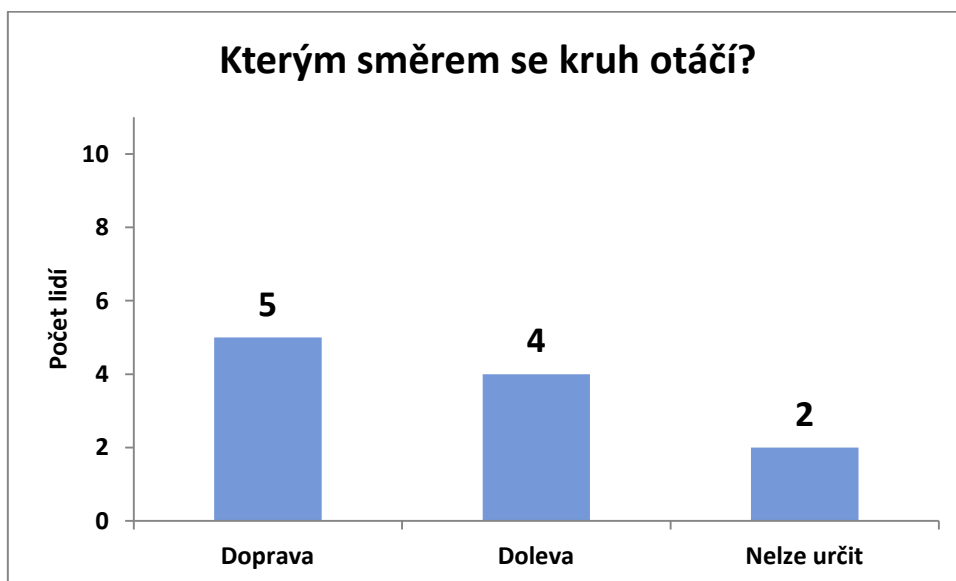


Graf 9: Vnímání plynulosti otáčejícího se kruhu



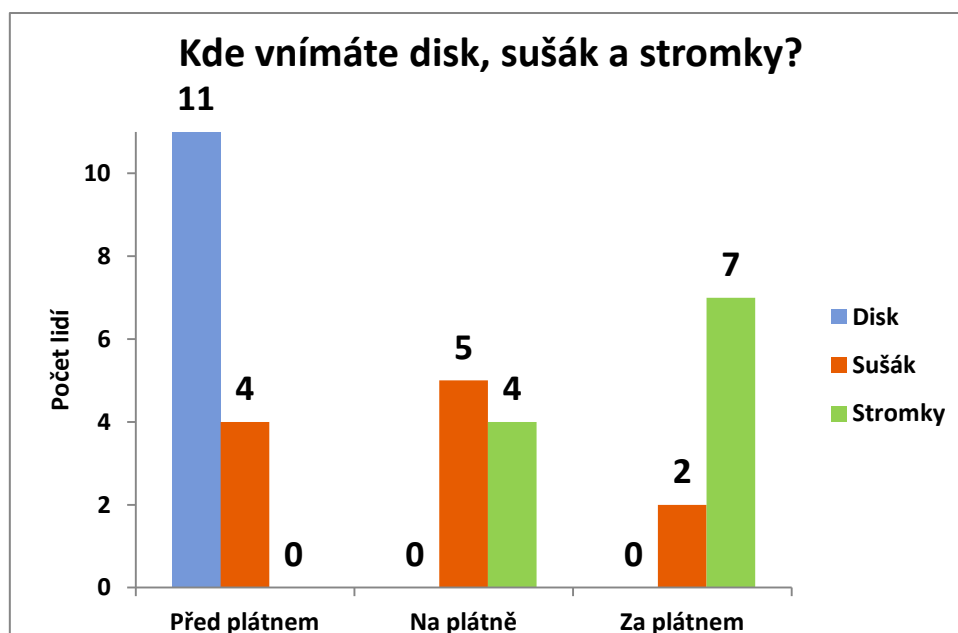
Graf 10: Vnímání barvy otáčejícího se kruhu

Z grafu 9 je patrné, že více než polovina respondentů nevnímá otáčející se kruh plynule. S rychlostí a plynulostí otáčení souvisí také to, zda se bude kruh jevit jako bílý. Promítání potvrdilo (viz graf 10), že 25 snímků za sekundu nestačí k tomu, aby tři čtvrtiny respondentů vnímaly otáčející se disk jako bílý, ačkoli v reálu se bílý jevil, a ani k tomu, aby jej většina respondentů vnímala plynule.



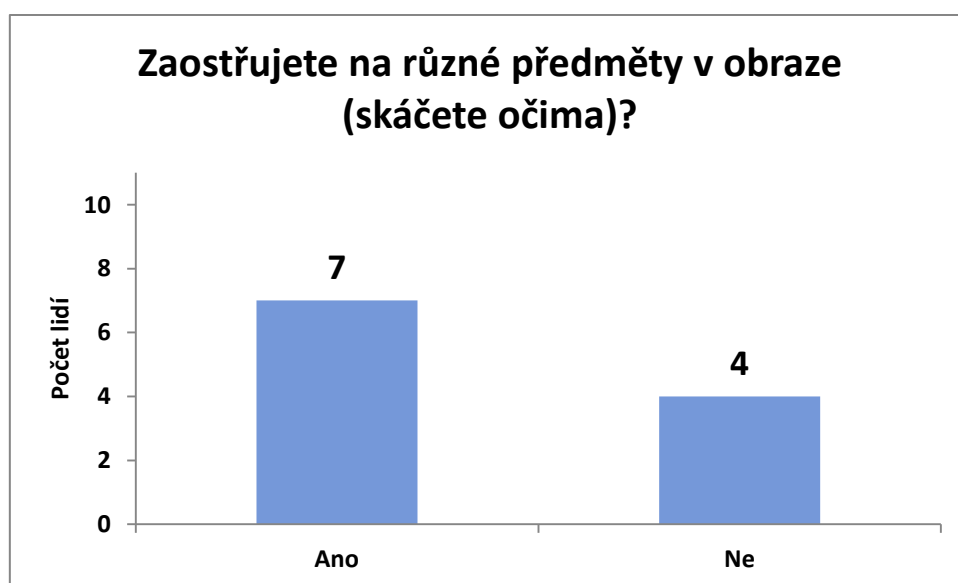
Graf 11: Vnímání směru otáčení disku

Dalším parametrem, který je možné objektivně zhodnotit, je směr otáčení kruhu. Kruh se otáčí doleva (proti směru hodinových ručiček). V grafu 11 je vidět, že téměř polovina diváků si myslí, že kruh se otáčí doprava (po směru hodinových ručiček), jen o jednoho méně si myslí, že se kruh otáčí doleva. Dva diváci nemohli určit směr otáčení. Můj předpoklad, že nebude možné určit směr otáčení, se tedy nepotvrdil.



*Graf 12: Vnímání pozice jednotlivých předmětů ve videu vůči plátnu*

Úkolem respondentů bylo zhodnotit, kde vnímají dané předměty ve videu vůči plátnu. V reálu byl nejbližše kameře disk, dále sušák a nejdále stromky. Z grafu 12 je zřejmé, že respondenti považují jednotlivé předměty za různě prostorově rozložené vůči plátnu. Všichni respondenti shodně prohlásili, že disk vnímají před plátnem. Sušák vnímali nejčastěji na plátně, poté před plátnem a někteří za plátnem. Stromky vnímala více než polovina respondentů za plátnem, někteří na plátně a nikdo před plátnem. Opět jsem nenašla souvislost mezi určením pozice předmětů a pozicí diváka vůči plátnu. Vysvětlením je tedy spíše individuální pohled každého diváka a také velikost paralaxy u jednotlivých předmětů. Největší paralaxu má jednoznačně disk, jehož pozici určili shodně všichni respondenti. Sušák a stromky měly paralaxu menší, což může vysvětlovat nejistotu respondentů.



*Graf 13: Způsob akomodace na otáčející se disk*

Předpokladem této scény byla nekontinuální akomodace, což plyne z prostorového umístění jednotlivých předmětů. Nadpoloviční většina diváků zaostřovala na různé předměty v obraze („skákala očima“, nezaostřovala plynule), jak je patrné z grafu 13. Zde je vidět kontrast vůči scéně „Projíždějící vlak“, kde jsou oči „vedeny“ a akomodují plynule. Předpoklad se tedy potvrdil.

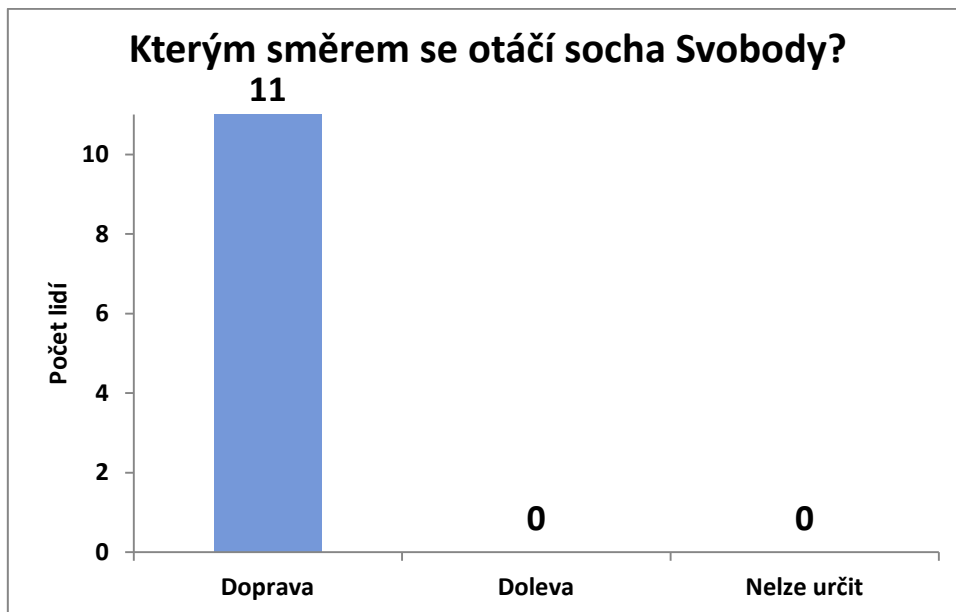
### 3b) Barevné spektrum II



Graf 14: Schopnost stálé akomodace na disk

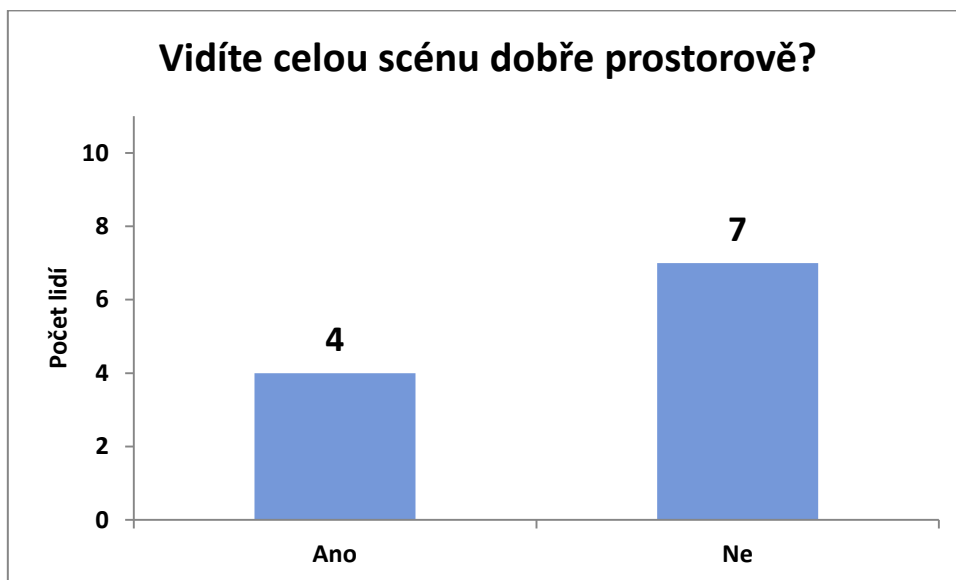
Předpoklad této scény byl nemožnost zaostřit na přibližující se disk vždy, zejména při úplném přiblížení. Z grafu 14 je zřejmé, že více než polovina respondentů nebyla schopna stálé akomodace v průběhu přibližování a oddalování disku. Na druhou stranu jsou tu čtyři respondenti, kteří byli schopni zaostřit vždy. Vjem je tedy opět subjektivní. Tito čtyři respondenti seděli v různé vzdálenosti od plátna, takže souvislost mezi vzdáleností respondentů od plátna a prostorovým vjemem se neprokázala.

#### 4) Kruhový objezd



Graf 15: Vnímání směru otáčení sochy Svobody

Socha Svobody se otáčela doprava (po směru hodinových ručiček). Všichni respondenti byli schopni odpovědět, kterým směrem se socha Svobody otáčí a všichni odpověděli správně, že se otáčí doprava (viz graf 15). Toto vyhodnocení lze porovnat se směrem otáčení barevného disku ve scéně „Barevný disk I“. Směr otáčení sochy Svobody byl jednoznačný, na rozdíl od barevného disku. To zjevně souvisí s rychlostí otáčení. Socha Svobody se otáčela velmi pomalu, kdežto disk velmi rychle.

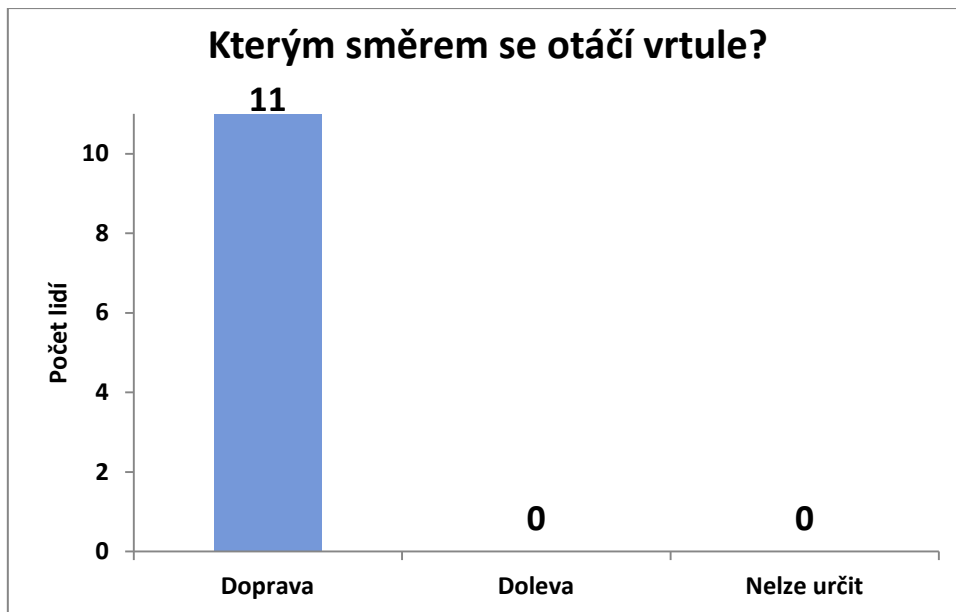


Graf 16: Prostorová viditelnost scény

Existuje určitá pravděpodobnost, že scéna nebude vnímána prostorově (viz kapitola 5.4). V grafu 16 je vidět, že se tento předpoklad potvrdil, a více než polovina diváků nevnímá scénu dobře prostorově. Souvislost mezi vzdáleností respondentů od plátna

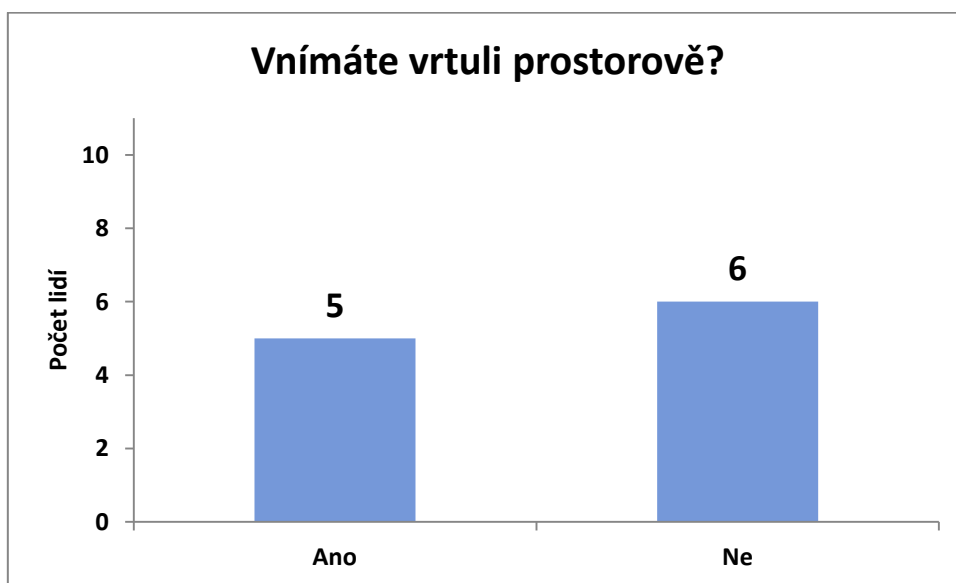
a prostorovým vjemem se nepotvrdila. Jedná se spíše o subjektivitu respondentů, protože čtyři diváci viděli scénu dobře prostorově, což může souviset např. s jejich „3D trénovaností“.

## 5) Větrná elektrárna



Graf 17: Vnímání směru otáčení vrtule

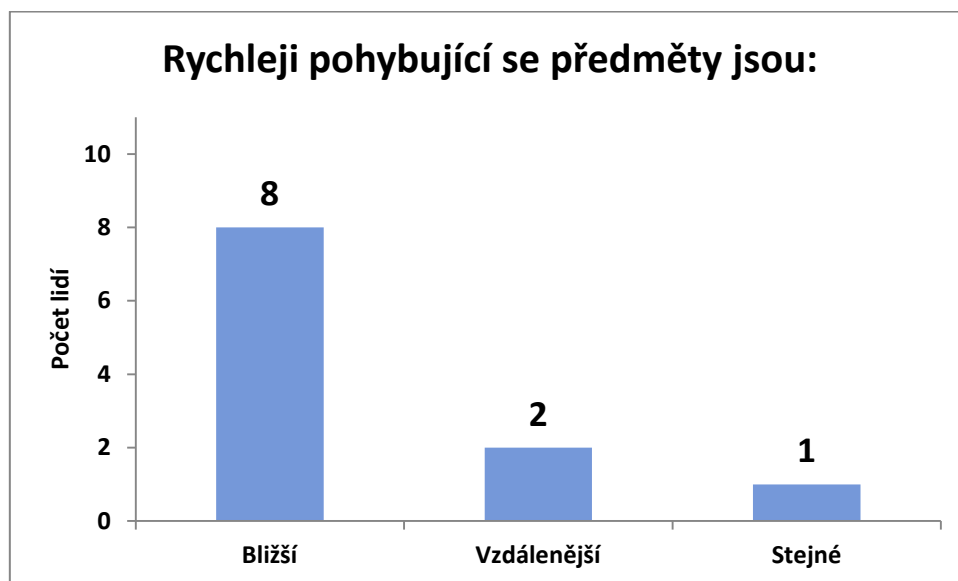
Respondenti měli opět objektivně určit, kterým směrem se otáčí vrtule větrné elektrárny. Vrtule se otáčí doprava (po směru hodinových ručiček). Všichni respondenti dokázali určit směr otáčení a opět všichni správně stejně jako ve scéně „Kruhový objezd“, kde ovšem byla rychlost otáčení nižší. Rychlost otáčení vrtule je tedy stále dostatečně nízká na to, aby respondent dokázal určit směr otáčení. U scény „Barevné spektrum I“ už byla rychlost příliš velká a dle mého názoru respondenti spíše odhadovali směr otáčení.



Graf 18: Prostorové vnímání vrtule

Vrtule je na mezi rádiusu stereoskopického pole (viz kapitola 5.5), a tudíž se nabízí otázka, zda ji budou respondenti vnímat prostorově. Z grafu 18 je patrné, že přibližně polovina respondentů vnímá vrtuli prostorově a druhá ji prostorově nevnímá. To opět svědčí o subjektivitě vnímání 3D videa a také o tom, že v blízkosti rádiusu stereoskopického pole se schopnost prostorového vnímání vytrácí. Opět se zde nepotvrdila souvislost mezi vzdáleností respondentů od plátna a prostorovým vjemem.

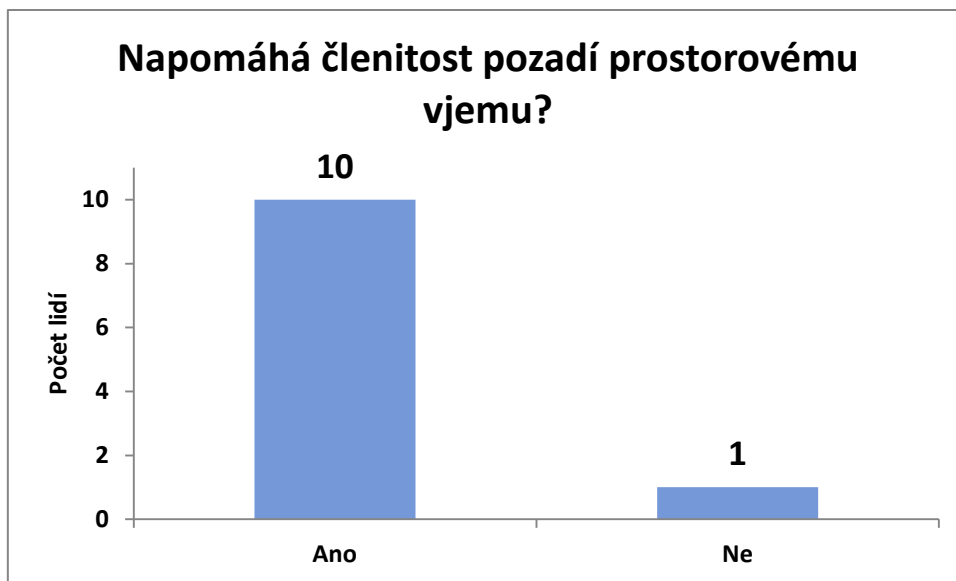
## 6) Jízda vlakem



*Graf 19: Vztah rychlosti a vzdálenosti pohybujících se předmětů*

Bližší předměty se jednoznačně pohybují rychleji (resp. se zdá, že kamera/divák se pohybuje rychleji vůči nim). V grafu 19 je ovšem vidět, že pro respondenty to úplně zřejmé nebylo. Většina sice považuje rychleji se pohybující předměty za bližší, ale tři respondenti odpověděli jinak, buď že jsou vzdálenější, anebo dokonce stejně vzdálené.

Nakonec respondenti odpovídali na několik otázek týkajících se všech videí a celkového vjemu.



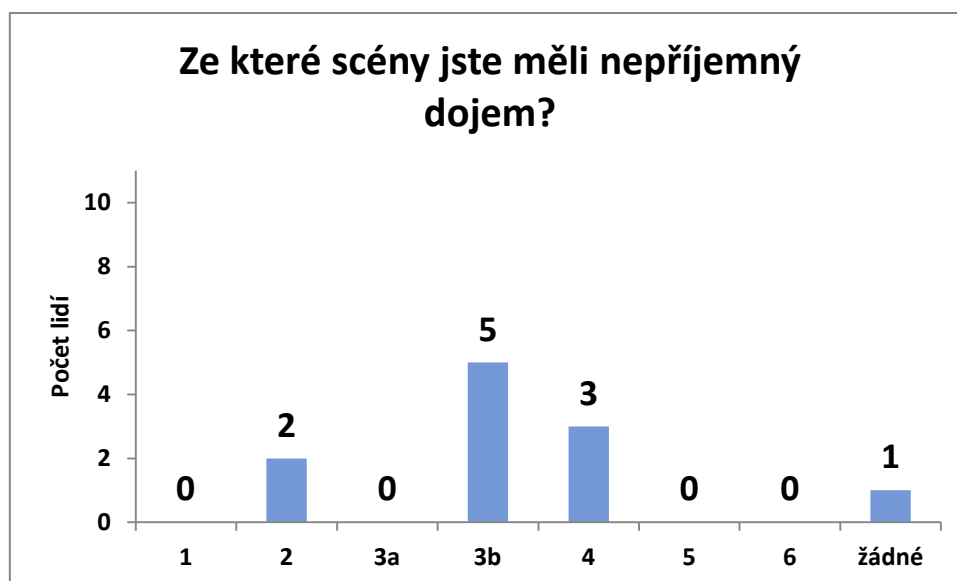
*Graf 20: Vliv pozadí na prostorový vjem*

Předpokladem je, že členitost pozadí by měla napomáhat prostorovému vjemu. Podle grafu 20 se tento předpoklad téměř jednohlasně potvrdil. Pouze jeden respondent si myslí, že členité pozadí nepodporuje prostorový vjem.

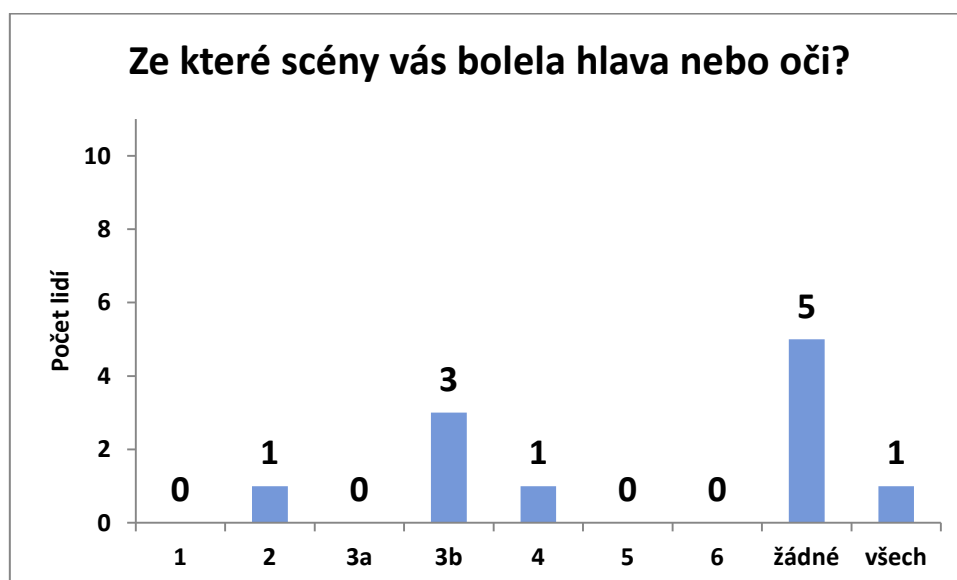


*Graf 21: Scéna s nejlepším prostorovým dojmem*





*Graf 22: Scény s nepříjemným dojmem*



*Graf 23: Bolest hlavy nebo očí*

Z grafu 21 je vidět, že nejlepší prostorový vjem poskytovala respondentům scéna „Projíždějící automobil“, potom scéna „Barevné spektrum I“ a poté scény „Projíždějící vlak“ a „Jízda vlakem“. Zajímavé je, že dva respondenti měli ze scény „Projíždějící automobil“ naopak nepříjemný dojem (viz graf 22) a jednoho dokonce bolela hlava nebo oči (viz graf 23). Jedna scéna tedy může někomu poskytovat výborný prostorový dojem a jinému dojem nepříjemný až bolestivý. Zde se opět potvrzuje, že vnímání 3D videí je silně individuální.

Nejvíce respondentů mělo nepříjemný dojem ze scény „Barevné spektrum II“. Třem respondentům se pak nezdála scéna „Kruhový objezd“. Pouze jeden respondent neměl nepříjemný dojem z žádné scény. Z grafu 23 plyne, že téměř polovinu respondentů nebolela z žádné scény hlava ani oči. Jednoho naopak bolela hlava nebo oči ze všech scén. Nejvíce respondentů bolela hlava nebo oči ze scény „Barevné spektrum II“ a poté ze scény „Kruhový objezd“.

Scény s nepříjemným dojmem jsou některými respondenty zároveň vyhodnoceny jako způsobující bolest. Není to však pravidlem, protože jeden respondent např. napsal, že scéna „Kruhový objezd“ na něj působí depresivně a nepocíťoval bolest z žádné scény. Vnímání scén tedy může záviset i na psychice a pocitech diváků. Lze říci, že nejhorší scénou je „Barevné spektrum II“, což je pravděpodobně způsobeno přibližováním disku až téměř ke kamerám a tedy zvětšováním paralaxy.

# Závěr

Na základě úvodního zamyšlení nad rozdílem mezi okem a kamerou je jasné, že i při sebelepším postupu při návrhu, snímání, zpracování a promítání dynamických scén není možné dosáhnout stejného zrkovného (včetně prostorového) vjemu jako v reálu. Odchytky navíc vznikají i mezi levým a pravým videem, protože každé je snímáno vlastní kamerou a promítáno vlastním dataprojektorem.

Ačkoli byly všechny parametry obou kamer SONY Handycam HDR-CX115EB nastaveny identicky, výsledné obrazy nebyly vždy naprosto shodné (posuv daný stereobází neuvažují). Obrazy se lišily zejména v ostroty a barevnosti.

Kamery nebylo možné synchronizovat hardwarově, proto jsem synchronizaci pravého a levého videa provedla softwarově v programu SONY Vegas Pro 11. Oba způsoby synchronizace jak pomocí zvukové špičky, tak pomocí čtvrtky papíru jsou dobře použitelné.

I přes veškerou snahu mít obě kamery ve vodorovné pozici vedle sebe tak, aby nevznikla vertikální paralaxa, se toto úplně nepodařilo. Ani použité vodováhy, jedna na stativu a druhá položená přímo na kamerách, nezaručily eliminaci vertikální paralaxy. Z toho vyplývá, že ve výsledném videu se projeví i nepatrný rozdíl ve vertikální pozici kamer. Tento rozdíl by byl tím větší, čím větší by byla ohnisková vzdálenost kamer, proto je z hlediska přesnosti nejlepší volit malé ohniskové vzdálenosti. Korekce vertikální paralaxy musela být provedena softwarově opět v programu SONY Vegas Pro 11.

V průběhu natáčení videí jsem také zjistila, že ideální je kamery umístit přesně proti dominantnímu předmětu scény. To znamená, že mezi předmětem a oběma kamerami by měla být stejná vzdálenost. Jedině tak nevzniká žádný rozdíl ve velikosti předmětů.

Pro natáčení stereovideí existuje mnoho různých pouček, výpočtů a doporučení. Tato pravidla sice pomohou pochopit některé zákonitosti, avšak ne vždy poskytují nejlepší výsledky. Je proto dobré vyzkoušet i metodu pokus-omyl a na základě zkušeností pak natáčet vyhovující videa.

Jedním z cílů práce bylo navrhnout vhodné dynamické scény k ověření fyziologických parametrů u člověka. Z tohoto důvodu jsem volila scény z přirozeného prostředí člověka s ohledem na jejich hloubku. Všechny předměty ve scénách mají dostatečnou velikost na to, aby mohlo být použito paralelní postavení kamer při snímání. Natáčení scén s modely (věcmi malých rozměrů) se mi neosvědčilo z důvodu příliš velké paralaxy při paralelním snímání.

Natočené a softwarově zpracované scény byly promítnuty skupině pozorovatelů. Pro promítání byla vybrána polarizační projekce. Jak jsem se na vlastní oči přesvědčila, polarizační projekce poskytuje lepší a přirozenější prostorový vjem než anaglyfová projekce, kterou jsem používala pro kontrolní náhled. Skupina pozorovatelů měla prostřednictvím připraveného dotazníku zhodnotit různé parametry jednotlivých scén.

Vyhodnocení promítání ukázalo, že získání prostorového vjemu ze dvou horizontálně posunutých videí je velmi individuální. Nejlepší velikost stereobáze se ukázala jako 12 cm

(pro scénu „Projíždějící automobil“), což neodpovídá velikosti oční báze u člověka. Velikost stereobáze ale velmi závisí na typu scény a prvcích v ní obsažených (zejména jejich vzdálenosti od kamer). Kdyby byla velikost stereobáze 12 cm použita např. u scény „Barevné spektrum II“, kde se točící disk přibližuje až téměř ke kamerám, diváci by s velkou pravděpodobností nebyli schopni fúze obou obrazů, protože více než polovina jich měla problém se zaostřením už při velikosti stereobáze 5 cm.

Respondenti také velmi individuálně hodnotili to, kde se vůči plátnu nacházejí dané objekty ve videu, což je závislé na velikosti paralaxy. Potvrdilo se také, že divák akomoduje kontinuálně, pokud se ve scéně nachází předmět, který dokáže vést jeho zrak (projíždějící vlak). Naopak, pokud je ve scéně více různě vzdálených prvků, které dokážou upoutat divákovu pozornost, pak divák akomoduje nekontinuálně („skáče očima“, jako tomu je ve scéně „Barevné spektrum I“). Ač by se to zdálo logické, není pro většinu diváků přirozenější pohyb předmětů ve scéně zleva doprava (stejně jako čteme). Individualita vnímání 3D videa a možná i trénovanost některých diváků se projevila ve vnímání celkové prostorovosti scény. I když scéna „Kruhový objezd“ obsahovala vertikální paralaxu, více než třetina respondentů ji byla schopna vnímat dobře prostorově. Prokázalo se také, že v blízkosti rádiusu stereoskopického pole se pomalu vytrácí schopnost prostorového vnímání.

Největší rozmanitost vnímání respondentů se projevila u odhadu vzdáleností blíže a dále projíždějícího automobilu. Nikdo nebyl schopen určit obě vzdálenosti správně. Pouze necelá čtvrtina respondentů určila alespoň jednu vzdálenost správně.

Dalším parametrem, který měli respondenti zhodnotit, byl směr otáčení, a to celkem ve třech scénách. V každé scéně se předmět otáčel jinou rychlostí. Nejrychleji se otáčel disk ve scéně „Barevné spektrum I“, pomaleji ve scéně „Větrná elektrárna“ a nejpomaleji ve scéně „Kruhový objezd“. Všichni diváci určili správně směr otáčení u dvou posledně jmenovaných scén. U prvně jmenované scény byla rychlost otáčení asi příliš velká na to, aby respondenti dokázali objektivně určit směr otáčení a dle mého názoru šlo tedy spíše o odhad.

Ukázalo se, že 25 snímků za sekundu nestačí k tomu, aby bylo otáčející se barevné spektrum vnímáno většinou respondentů plynule a bíle. Většina respondentů také považuje rychleji se pohybující předměty za bližší.

Téměř všichni respondenti se shodli na tom, že členitost pozadí napomáhá prostorovému vjemu. Přibližně polovině respondentů způsobila některá ze scén bolest hlavy nebo očí, jednomu dokonce všechny scény. Na druhou stranu druhá polovina respondentů bolest nepociťovala.

Vliv pozice diváků vůči plátnu na hodnocení promítaných scén se jednoznačně neprokázal. K tomuto účelu by byla potřeba mnohem větší skupina rovnoměrně rozmístěných pozorovatelů. Podle mé zkušenosti však má pozice diváka vůči plátnu vliv, a to zejména pro odhad vzdálenosti a velikosti předmětů, hloubky celé scény, ale také pro vnímání světlosti videa, resp. plátna, která se s úhlem pozorování mění.

# Zdroje

- [1] KÁBRT, Jan, Pavel KUCHARSKÝ, Rudolf SCHAMS, Čestmír VRÁNEK, Drahomíra WITTICHOVÁ a Vojtěch ZELINKA. *Latinsko/český slovník*. Praha: LEDA, 2003. ISBN 80-85927-82-9.
- [2] *ABZ slovník cizích slov* [online]. © 2005-2006 [cit. 2011-12-27]. Dostupné z WWW: <http://slovník-cizich-slov.abz.cz/>
- [3] GBELEC, Petr. Oko a jeho funkce. *AA-Vet* [online]. 23. 09. 2002 [cit. 2011-10-12]. Dostupné z: <http://www.aavet.cz/main.php?page=clanek&id=144&slzv%3E>
- [4] PIHAN, Roman. Oko (a mozek) versus fotoaparát. *FotoRomán* [online]. 1. 7. 2005 [cit. 2011-10-14]. Dostupné z WWW: [http://fotoroman.cz/techniques2/light\\_eye\\_camera.htm](http://fotoroman.cz/techniques2/light_eye_camera.htm)
- [5] ZOBANOVÁ, Anna. Respektování fyziologického vývoje vidění v preventivních prohlídkách zraku dětí a dorostu. *Vox pediatryae*. 2004, roč. 4, č. 9, s. 20-21. Dostupné z: [http://www.detskylekar.cz/cps/rde/xbcr/dlekar/2004\\_vox9.pdf](http://www.detskylekar.cz/cps/rde/xbcr/dlekar/2004_vox9.pdf)
- [6] ODEHNAL, Milan. Strabismus. *Postgraduální medicína* [online]. 2008, č. 5 [cit. 2012-02-17]. ISSN 1212-4184. Dostupné z: <http://www.zdn.cz/clanek/postgradualni-medicina/strabismus-367843>.
- [7] KVAPILÍKOVÁ, Květa. *Práce a vidění*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1999. ISBN 80-7013-275-2.
- [8] GANONG, William F. *Přehled lékařské fyziologie*. Praha: Galén, 2005. 890 s. ISBN 80-7262-311-7.
- [9] BENEŠOVÁ, Marika, Hana HAMPLOVÁ, Kateřina KNOTOVÁ, Pavlína LEFNEROVÁ, Ivana SÁČKOVÁ a Hana SATRAPOVÁ. *Odmaturuj z biologie*. Vydání první. Brno: DIDAKTIS, 2003. ISBN 80-86285-67-7.
- [10] TROJAN, Stanislav a kolektiv. *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada, 2003. 772 s. ISBN 80-247-0512-5.
- [11] HRAZDIRA, Ivo a Vojtěch MORNSTEIN. *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. Brno: Neptun, 2004. 395 s. ISBN 80-902896-1-4.
- [12] SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. Praha: Grada, 2004. 448 s. ISBN 978-80-247-0630-6.
- [13] PECKA, Karel a Jiří MATĚJČEK. *Využití stereoskopie ve vyučování*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1982. 50 s. ISBN 17-563-82.
- [14] AUTRATA, Rudolf a Jana VANČUROVÁ. *Nauka o zraku*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. ISBN 80-7013-362-7.
- [15] MENDIBURU, Bernard. *3D Movie Making: Stereoscopic Digital Cinema from Script to Screen*. United States of America: Elsevier, 2009. ISBN 978-0-240-81137-6.

- [16] HRSTKA, Jaroslav. Autostereoskopie – možnosti promítání 3D obrazů bez potřeby speciálních brýlí. *Sdělovací technika*. 2010, roč. 58, č. 7, s. 11-13. Dostupné z: [www.stech.cz/download.php?id\\_document=401158792](http://www.stech.cz/download.php?id_document=401158792)
- [17] VOKURKA, Martin a Jan HUGO. *Velký lékařský slovník*. 4. revidované vydání. Maxdorf, 2004. ISBN 80-7345-037-2.
- [18] DOSTÁLEK, Miroslav. *Obecná fyziologie BV I.: analytická & psychogenní složka* [prezentace]. 25. března 2009 [cit. 30. 12. 2011].
- [19] DOSTÁLEK, Miroslav. *Obecná fyziologie BV I.: úvod & projekční složka* [prezentace]. 25. února 2009 [cit. 30. 12. 2011].
- [20] KVAPILÍKOVÁ, Květa. *Vyšetřování oka*. Vydání první. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1995. ISBN 80-7013-195-0.
- [21] FRIEDMAN, KAISER a TRATTLER. *Review of Ophthalmology*. [online]. 2005 [cit. 2011-12-28]. Dostupné z: <http://oph.ucsd.edu/residents/learning/Friedman/data/resources/images/pdf/a000-05-052.pdf>
- [22] StereoGraphics Corporation. *StereoGraphics Developers' Handbook*. 1997. 65 s.
- [23] DASHWOOD, Tim. A Beginner's Guide to Shooting Stereoscopic 3D. *Dashwood Cinema Solutions* [online]. 1. 5. 2010, 10. 9. 2011 [cit. 2011-12-28]. Dostupné z: <http://www.dashwood3d.com/blog/beginners-guide-to-shooting-stereoscopic-3d/>
- [24] NARDIC SOLUTIONS S.R.O. Přehled 3D technologií. *Nardic solutions* [online]. © 2009. [cit. 2011-12-29]. Dostupné z: <http://www.nardic.cz/prehled-3d-technologie/>
- [25] CYBERLINK. How does 3D work? *CyberLink* [online]. © 2011. [cit. 2011-12-29]. Dostupné z: <http://www.cyberlink.com/stat/3d-support/enu/index.jsp#3d-primer>
- [26] BOHÁČ, Matěj. Způsoby zpracování a zobrazení stereofotografií. *Klub stereoskopické fotografie* [online]. [cit. 2011-12-29]. Dostupné z: <http://klub.stereofotograf.eu/zobrazeni.php>
- [27] KŘÍŽENECKÝ, Jan. Anaglyf aneb barevná separace obrazů. *Stereofotograf.eu* [online]. [cit. 2011-12-29]. Dostupné z: <http://stereofotograf.eu/navody/anaglyf/>
- [28] DUMBRECK, A. A. a C. W. SMITH. 3-D TV Displays for Industrial Applications. In: *IEE Colloquium on Stereoscopic Television Digest No173*. IEE, 1992, s. 7/1-4.
- [29] GALI-3D, s.r.o. Aktivní 3D stereoskopická technologie. *Gali-3D* [online]. © Copyright 2005-2011. [cit. 2011-12-29]. Dostupné z: <http://cs.gali-3d.com/stereoskopie-aktivni-3d/>
- [30] BOHÁČ, Matěj. Směřování fotoaparátů při fotografování. *Klub stereoskopické fotografie* [online]. [cit. 2011-12-29]. Dostupné z: [http://klub.stereofotograf.eu/toe\\_in.php](http://klub.stereofotograf.eu/toe_in.php)
- [31] PIHAN, Roman. Zorný úhel. *FotoRomán* [online]. © 2011 [cit. 2012-03-05]. Dostupné z: [http://www.fotoroman.cz/glossary2/2\\_zorny\\_uhel.htm](http://www.fotoroman.cz/glossary2/2_zorny_uhel.htm).

# Seznam použitých zkratek

DOF	Depth of Field	hloubka ostrosti
FOV	Field of View	zorné pole
CFF	Critical Fusion Frequency	kritická frekvence splývání
IrDA	Infrared Data Association	sdružení pro infračervený přenos dat
NPP	Native Pixel Parallax	přirozená paralaxa vyjádřená v pixelech
PC	Personal Computer	osobní počítač
USB	Universal Serial Bus	univerzální sériová sběrnice
HD	High-Definition	vysoké rozlišení
PAL	Phase Alternating Line	nepřekládá se
AVI	Audio Video Interleave	nepřekládá se
MPEG	Motion Picture Experts Group	nepřekládá se

# Seznam příloh

Příloha 1: Dotazník

Příloha 2: Obsah přiloženého DVD

# Příloha 1: Dotazník

## Dotazník

Ještě před promítáním si, prosím, přečtěte celý dotazník, abyste věděli, na co se máte zaměřit. Odpověď, kterou vyberete, zakroužkujte. Ke každé scéně nebo obecně ke všem můžete napsat slovně Váš názor či postřeh. Před odchodem, prosím, dotazník položte na židli, na které jste seděli.

Máte nějakou oční vadu?	Ano	Ne
Pokud ano, napište jakou. _____		
Nosíte brýle?	Ano	Ne

### 1) Projíždějící vlak

Kde vnímáte ze začátku vlak?	Před plátnem	Za plátnem	Na plátně
Změní se to v průběhu sledování (jízdy vlaku)?	Ano	Ne	
Pokud ano, kdy přibližně? (popište místem, např. u kterého sloupu). _____			
Jak zaostřujete na pohybující se vlak?	Plynule	Skáču očima	
Přirozenější pro vás je, když vlak jede:	Zleva	Zprava	

### 2) Projíždějící automobil

Které video vám poskytuje nejlepší prostorový vjem a komfortní sledování?	1	2	3
Jak na vás působí pozadí?	Prostorově	Ploše	
Odhadněte vzdálenost <u>blíže</u> projíždějícího auta v metrech. _____			
Odhadněte vzdálenost <u>dále</u> projíždějícího auta v metrech. _____			

### 3a) Barevné spektrum I

Jak vnímáte otáčející se kruh?	Plynule	Seká se	
Má kruh bílou barvu?	Ano	Ne	
Kterým směrem se kruh otáčí?	Doprava	Doleva	Nelze určit
Kde vnímáte: disk	Před plátnem	Za plátnem	Na plátně
sušák	Před plátnem	Za plátnem	Na plátně
stromky	Před plátnem	Za plátnem	Na plátně
Zaostřujete na <u>různé</u> předměty v obraze (skáčete očima)?	Ano	Ne	

### 3b) Barevné spektrum II

Jste schopni zaostřit na přibližující se disk vždy?	Ano	Ne
---	-----	----

### 4) Kruhový objezd

Kterým směrem se otáčí socha Svobody?	Doprava	Doleva	Nelze určit
Vidíte celou scénu dobře prostorově?	Ano	Ne	

### 5) Větrná elektrárna

Kterým směrem se otáčí „vrtule“?	Doprava	Doleva	Nelze určit
Vnímáte vrtuli prostorově?	Ano	Ne	

### 6) Jízda vlakem

Rychleji pohybující se předměty jsou:	Blíží	Vzdálenější
---------------------------------------	-------	-------------

### Obecně:

Napomáhá členitost pozadí prostorovému vjemu?	Ano	Ne
Která scéna na vás působí nejlepším prostorovým dojmem? _____		
Měli jste z některé scény nepříjemný dojem (z jaké)? _____		
Bolela vás z některé scény hlava nebo oči (z jaké)? _____		



## Příloha 2: Obsah přiloženého DVD

Bakalářská práce (formát PDF)

Složka: videa side-by-side (formát AVI)

- 1 projíždějící vlak
- 2.1 projíždějící automobil (stereobáze 6 cm)
- 2.2 projíždějící automobil (stereobáze 10 cm)
- 2.3 projíždějící automobil (stereobáze 12 cm)
- 3.1 barevné spektrum I
- 3.2 barevné spektrum II
- 4 kruhový objezd
- 5 větrná elektrárna
- 6 jízda vlakem

Složka: videa zvlášť pravé a levé (formát MPEG-2)

- 1 projíždějící vlak L
- 1 projíždějící vlak R
- 2.1 projíždějící automobil (stereobáze 6 cm) L
- 2.1 projíždějící automobil (stereobáze 6 cm) R
- 2.2 projíždějící automobil (stereobáze 10 cm) L
- 2.2 projíždějící automobil (stereobáze 10 cm) R
- 2.3 projíždějící automobil (stereobáze 12 cm) L
- 2.3 projíždějící automobil (stereobáze 12 cm) R
- 3.1 barevné spektrum I L
- 3.1 barevné spektrum I R
- 3.2 barevné spektrum II L
- 3.2 barevné spektrum II R
- 4 kruhový objezd L
- 4 kruhový objezd R
- 5 větrná elektrárna L
- 5 větrná elektrárna R
- 6 jízda vlakem L
- 6 jízda vlakem R